

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ CLEITON FEITOZA ALVES

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO
COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE MÁRMORE-GRANITO E
CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Delmiro Gouveia – AL

2016

JOSÉ CLEITON FEITOZA ALVES

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO
COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE MÁRMORE-GRANITO E
CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pela Universidade Federal de Alagoas, tendo como orientador o Me. Alexandre Nascimento de Lima.

Delmiro Gouveia – AL

2016

A474a Alves, José Cleiton Feitoza

Análise do comportamento de tijolos solo-cimento com
adição de resíduo de pó de mármore-granito e cinza de bagaço
de cana-de-açúcar / José Cleiton Feitoza Alves. - 2016.
53 f.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de
Alagoas, Delmiro Gouveia, 2016.

Orientação: Prof. Me. Alexandre Nascimento de Lima.

1. Resíduos. 2. Solo-Cimento. 3. Tijolo.

CDU 54

Folha de Aprovação

AUTOR: JOSÉ CLEITON FEITOZA ALVES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos pré-requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas, aprovado em 20/07/2016

Banca Examinadora:

Alexandre Nascimento de Lima

Prof. Me. Alexandre Nascimento de Lima – UFAL (orientador)

Rafaela Faciola Coelho de Souza

Profa. Dr^a Rafaela Faciola – UFAL

Karlisson André Nunes da Silva

Prof. Me. Karlisson André Nunes da Silva – UFAL

A Deus, por quantas vezes invocado por mim a me encorajar nesta caminhada.

A minha mãe, Maria Carmelita Feitosa Alves, a qual sem ela jamais eu teria conseguido.

Ao meu pai, em memória, Inácio Bernardino Alves, meu exemplo de honestidade.

A minha querida irmã, Jane Cleide Feitoza Lima, a qual sempre me ajudou e acreditou nos meus projetos de vida.

E à minha filha amada, Cecília Santana Feitoza Alves, a quem proporcionei tão pouco, ante a minha ausência.

AGRADECIMENTOS

Ao IFAL – Instituto Federal de Alagoas - Palmeira dos Índios, o qual colaborou com o seu Laboratório de Materiais para fazermos alguns os ensaios técnicos referentes a esta pesquisa, onde fomos muito bem recepcionados.

Aos colegas e professores de Engenharia Civil.

*“Saber que iremos nos separar para concretizar sonhos CONCRETANDO PILARES, por
TEORIA, sentiremos uma FORÇA NORMAL, CORTANTE em nossos corações, a todo
MOMENTO”*

(José Cleiton Feitoza Alves).

RESUMO

Visando a um processo de sustentabilidade, este estudo propôs uma análise do desempenho de tijolos solo-cimento com adição de resíduos de corte de mármore/granito (RCMG) e resíduos de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), com a finalidade de serem usados na construção civil, e, conseqüentemente proporcionar uma produção mais limpa e mais econômica, em razão de algumas indústrias ainda descartarem estes rejeitos sem tratamento na natureza. Assim, como referenciais teóricos, foram levadas em consideração duas pesquisas desenvolvidas, trata-se do trabalho de Santos Neto (2015), o qual usou adição de RCMG e obteve como melhor resultado à resistência média à compressão 2,85 MPa, com o traço: 9,1% de cimento, 77,27% de solo e 13,63% de RCMG; e a pesquisa de Marques, Mendonça; Tenório (2012), que usou adição de CBCA e teve como melhor resultado a resistência à compressão média 6,01 MPa com o traço: 10% de cimento, 86% de solo e 4% de CBCA. Embora a resistência à compressão dos tijolos de Marques (2012) atingir desempenho superior à de Santos Neto, este trabalho busca apenas a resistência indicada a tijolos de alvenaria de vedação, cuja NBR 8491 (ABNT 2013b) exige apenas 2,0 MPa, assim utilizou-se o traço mais econômicos entre eles, ou seja, o melhor resultado do traço obtido por Santos Neto (2015), por este usar apenas 9,1% de cimento Portland. Neste sentido, a atual pesquisa, aproveitando os dois resultados, foi desenvolvida adicionando aos tijolos solo-cimento os dois resíduos, CBCA e RCMG, concomitantemente, obtendo os seguintes resultados: os testes de absorção de água, definidos pela NBR 8492 (ABNT 2013c), foram aprovados, entretanto, os testes de resistência à compressão simples, definidos pela NBR 8491 (ABNT 1984), não atingiram aos resultados almejados. Com isto, chegou-se à conclusão que é inviável a produção de tijolos solo-cimento usando as proporções testadas nesta pesquisa científica.

Palavras-chave: Tijolo. Solo cimento. Melhoramento. Resíduos. RCMG. CBCA. Material. Alternativo. Ecológico.

ABSTRACT

Targeting a process of sustainability, this study proposed a performance analysis of soil / cement bricks by adding to the mixture waste marble dust / granite (RPMG) and ash residue from sugarcane bagasse (CBCA) with the purpose of use them in construction, and thus provide a cleaner and more economical production, because some industries still discard these wastes with no treatment to nature. So, as theoretical references, two research developed were considered, it is the work of Santos Neto (2015), which used adding RCMG and got the best result to the average compressive strength of 2.85 MPa, with the dash : 9.1% of cement, 77.27% of soil and 13.63% of RPMG; and the research of Marques, Mendonça; Tenorio (2012), who used of CBCA and had the best result of the average compression resistance of 6.01 MPa with the trace 10% cement, 86% ground and 4% CBCA. Although the compressive strength of bricks Marques (2012) to achieved higher performance than Santos Neto, this work seeks only the indicated resistance to the sealing brickwork, whose NBR 8491 (ABNT 2013b) requires only 2.0 MPa, so was used the most economical trace between them, that is the best result of the trace obtained by Santos Neto (2015), using only 9.1% of Portland cement. Therefore, the current research, taking advantage of the two results, was developed by adding to the soil cement bricks two CBCA and RPMG residues, respectively, obtaining the following results: water absorption tests defined by NBR 8492 (ABNT 2013c) were approved, however, resistance tests to simple compression, defined by NBR 8491 (ABNT 1984), did not achieve the desired results.

Keywords: soil-cement bricks. Improvement. Residue of marble and granite cutting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Descarte de lama abrasiva <i>in natura</i>	18
Figura 2 - Pintura histórica do ciclo da cana de açúcar.	20
Figura 3 - Descarte de cinzas <i>in natura</i> no solo.	21
Figura 4 - Poluição visual provinda da extração de granito	22
Figura 5 - Corte de granito.	24
Figura 6 – Tijolo de adobe.....	29
Figura 7 – Arquitetura à base de Pau-a-pique	30
Figura 8 – Habitação de pau-a-pique trocada por casa de alvenaria	31
Figura 9 – Parede de taipa de pilão	32
Figura 10 – Esparrame de solo-cimento por motoniveladora.....	34
Figura 11 - Prensa CINVA-Ran.	35
Figura 12– Bloco cerâmico e tijolo solo-cimento sendo aferidos	37
Figura 13 – Prensa usada no laboratório e os tijolos confeccionado em 3 horas de trabalho ..	38
Figura 14 – Moldes que se adaptam à prensa pra produzir o formato desejado.....	39
Figura 15 – Flexibilidade do tijolo solo-cimento	40
Figura 16 – Molde para acomodação do material.	47
Figura 17 - Medida de retração do solo.....	48
Figura 18 – Preparação da argamassa para o tijolo solo-cimento	49
Figura 19 - Bolinho sendo amassado e em seguida com as marcas dos dedos.	49
Figura 20 - bolinho solto de uma altura próxima a 1m para se despedaçar.	50
Figura 21 - Composição do cimento Portland.....	51
Figura 22 - Modelo de prensa manual de tijolos solo-cimento.	52
Figura 23 - Solo utilizado.....	61
Figura 24 - Resíduos do corte do mármore/granito.....	62

Figura 25 – Peneiramento da CBCA.	63
Figura 26 - Prensa no laboratório de materiais da UFAL – Sertão.	64
Figura 27 – Solo e <i>quarteamento</i>	65
Figura 28 – Amostra de solo sendo pesada.	66
Figura 29 - Peneiras acopladas ao agitador.	67
Figura 30 - Amostra contida na concha do aparelho de Casa Grande.....	68
Figura 31 – Massa úmida de solo sendo moldada em forma de cilindro.	70
Figura 32 - Experiência para adotar uma umidade ótima em cada traço	73
Figura 33 – Teste dos tijolos provisórios na máquina	74
Figura 34 – Preparação dos traços	75
Figura 35 - Compartimento que comporta o traço.	76
Figura 36 – Tijolos acomodados à mesa; câmara úmida improvisada para cura	76
Figura 37 – Tijolos colocados na estufa; aferição da massa seca.....	77
Figura 38 – Processo de aferição da massa saturada	78
Figura 39 – Preparação dos tijolos para o teste de compressão.....	79
Figura 40 – Tijolos preparados e embalados para viagem.	80
Figura 41 – Corpo de prova posto na prensa hidráulica para ser rompido	81
Figura 42 - Peneira de 4,75mm.	82
Figura 43 - Amostra de solo em forma de cilindro fragmentada antes de atingir os 3 mm de espessura.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exportação brasileira de rochas ornamentais período jun./2014 a jun./2015.....	24
Tabela 2 – Resistência média à compressão simples (MPa)	41
Tabela 3 – Resistência à compressão simples e menor valor individual.....	42
Tabela 4 – Resistência média à compressão simples	43
Tabela 5 – Resistência média à compressão simples com materiais medidos em volumes	43
Tabela 6 – Resistência média à compressão aos 28 dias	45
Tabela 7 – Traços utilizados por Santos Neto em volume	54
Tabela 8 - Fator água cimento, usado em cada traço.....	54
Tabela 9 - Media dos valores de absorção de água e maior valor individual.....	55
Tabela 10 – Resistência média à compressão simples e o menor valor individual	55
Tabela 11- Nomeação dos traços.....	57
Tabela 12 – Melhores Traços por Pesquisa	71
Tabela 13 - Nomeação do Traço.....	72
Tabela 14 – Fator água cimento	74
Tabela 15 - Resultados do Peneiramento.	83
Tabela 16 - Dados obtidos com o ensaio de limite de liquidez	84
Tabela 17 - Limite de absorção média de água e maior valor individual.....	86
Tabela 18 – Médias das resistências à compressão simples e menores tensões individuais	86
Tabela 19 – Resistências à compressão, traço executado por Santos Neto e pelo Autor	88

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistência média à compressão simples (MPa).....	42
Gráfico 2 – Resultado do teste de resistência média à compressão.....	44
Gráfico 3 - Curva de variação da resistência à compressão por porcentagem de resíduo.....	56
Gráfico 4 - Resultados dos ensaios de absorção de água	57
Gráfico 5 - Ensaios de perda de massa por imersão nas idades de 7 e 14 dias	58
Gráfico 6 - Resultados dos ensaios mecânicos dos tijolos	58
Gráfico 8 - Pontos obtidos para determinação do limite de liquidez.....	85

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
a. C.	antes de Cristo
BTC	Bloco de terra comprimida
CAA	Concreto Alto adensável.
CASAL	Cia. de Abastecimento de Água de Alagoas S/A.
CBCA	Cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar
CINVA	Centro Interamericano de Vivenda
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFAL	Instituto Federal de Alagoas
ONU	Organização das Nações Unidas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora.
RCD	Resíduo de Construção e Demolição.
RCMG	Resíduo do Corte do Mármore e Granito.
LL	Limite de Liquidez.
LP	Limite de Plasticidade.
LSPA	Levantamento sistemático da produção agrícola.
UFAL	Universidade Federal de Alagoas.
PCA	Portland Cement Association.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Problemática	19
1.1.1	<i>Resíduos sólidos – classificação.....</i>	25
1.2	Objetivos gerais.....	26
1.2.1	<i>Objetivos específicos</i>	27
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	28
2.1	Solo.....	28
2.1.1	<i>Tijolo de adobe</i>	28
2.1.2	<i>Arquitetura de pau-a-pique</i>	29
2.1.3	<i>Taipa de pilão</i>	31
2.1.4	<i>Bloco de terra comprimida (BTC).....</i>	32
2.2	Solo-cimento	33
2.3	Prensa CINVA-Ran	34
2.4	Tijolos de solo-cimento	35
2.5	Tijolos de solo-cimento no Brasil.....	36
2.6	Desvantagens do uso de tijolo solo-cimento.....	36
2.7	Vantagens do tijolo solo-cimento.....	38
2.8	Pesquisas realizadas com adições em tijolos solo-cimento	41
2.9	Técnicas para pequena produção de tijolos solo-cimento.....	45
2.9.1	<i>Características de um solo ideal para tijolos solo-cimento</i>	46
2.9.2	<i>Areia/argila - proporção ideal</i>	47
2.10	Cimento Portland.....	50
2.10.1	<i>Mistura solo cimento</i>	52
2.10.2	<i>Dosagem – tijolo de solo-cimento</i>	52
2.10.3	<i>Processo preparação/fabricação.....</i>	53
2.11	Referencial Teórico.....	54
2.11.1	<i>Estudo de caso da pesquisa de Santos Neto (2015)</i>	54
2.11.2	<i>Estudo de caso - pesquisa do Marques; Mendonça; Tenório (2012).....</i>	56
3.	METODOLOGIA.....	60
3.1	Materiais.....	60
3.1.1	<i>O solo.....</i>	60
3.1.2	<i>O cimento Portland.....</i>	61
3.1.3	<i>O Resíduo de corte do mármore e granito</i>	62
3.1.4	<i>A cinza de bagaço de cana-de-açúcar.....</i>	62
3.1.5	<i>A água.....</i>	63
3.1.6	<i>A prensa CINVA-Ran.....</i>	63
3.2	Métodos utilizados	64
3.2.1	<i>Ensaio de granulometria do solo.....</i>	66
3.2.2	<i>Ensaio de limite de liquidez.....</i>	67
3.2.3	<i>Ensaio de limite de plasticidade</i>	69
3.3	Determinação dos traços	70
3.4	Produção dos Tijolos de Solo-cimento	72
3.5	Ensaio de Absorção de água	77
3.6	Ensaio de resistência à compressão simples	78
4.	RESULTADOS	82
4.1	Resultados correspondentes aos testes efetuados com o solo.....	82

4.1.1	<i>Análise granulométrica</i>	82
4.1.2	<i>Limite de plasticidade</i>	83
4.1.3	<i>Limite de liquidez</i>	84
4.1.4	<i>Resultados dos testes de limite de absorção de água</i>	85
4.1.5	<i>Resultados referentes à resistência à compressão simples</i>	86
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
5.1	Observações	88
6.	CONCLUSÃO	90
6.1	Sugestões para trabalhos futuros.	91
	REFERÊNCIAS	92

1. INTRODUÇÃO

Com a publicação da NBR 15.575 (ABNT 2013), a Engenharia adere-se a novos valores que agora são fundamentais em edificações residenciais: vida útil, desempenho, eficiência, manutenção, responsabilidade profissional, e, o que é mais especulado, sustentabilidade. A norma foi pensada para causar menos impactos ao meio ambiente, usando de uma filosofia econômica ligada à sustentabilidade, segurança e garantia.

Segundo Claro; Claro; Amâncio (2008, p. 289), a definição de sustentabilidade mais difundida é a da Comissão Brundtland, a qual considera que o desenvolvimento sustentável deve satisfazer às necessidades da geração presente sem comprometer as gerações futuras. A Organização das Nações Unidas (ONU), a partir da Conferência de Estocolmo em 1972, criou uma comissão para avaliar os problemas ambientais no planeta (DE MOURA, 2011, p. 11). Esta comissão, presidida pela Sr^a Gro Harlem Brundtland, que foi duas vezes primeira ministra da Noruega, produziu como resultados do seu trabalho e pesquisa um relatório que mais tarde foi cognominado com o seu sobrenome: trata-se do Relatório Brundtland, intitulado: “Nosso Futuro Comum”, no ano de 1987. Depois deste começo a preocupação com o meio ambiente tomou impulso e vem crescendo cada vez mais, trazendo novos interesses aplicados à ciência, que, conseqüentemente, voltaram-se às novas tecnologias.

Examinando o processo histórico, observa-se que estudos intensificados do uso do solo como material de construção tem melhorado o seu comportamento físico/mecânico significativamente por meio da estabilização com aglomerantes minerais. O solo, além de ser material abundante, o que torna economicamente viável a sua utilização, tem suas vantagens por casar muito bem com o cimento Portland, quando prensados.

Conforme Milani; Freire (2006, p. 1):

Na estabilização do solo com o cimento, ocorrem reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento, formando um gel que preenche parte dos vazios da massa e une os grãos adjacentes do solo, conferindo-lhe resistência inicial; paralelamente, ocorrem reações iônicas que provocam a troca de cátions das estruturas argilominerais do solo com os íons de cálcio provenientes da hidratação do cimento adicionado. Além dessas modificações iniciais, ABIKO (1980) afirmou que, ao longo do tempo, formam-se compostos cimentantes que contribuem para o melhoramento de propriedades do material (resistência mecânica, durabilidade, estabilidade volumétrica).

Isto posto, este trabalho trata da análise da utilização de cinzas provindas da queima do bagaço da cana-de-açúcar oriundas da agroindústria canavieira e do pó remanescente do beneficiamento de pedras ornamentais, ambos acrescentados a tijolos de solo-cimento aplicados em prensa CINVA-RAN, e com isto, examinar a viabilidade como material compósito a ser utilizado em larga escala na construção civil, objetivando uma produção mais limpa, com menor custo e com a intenção de um melhoramento em relação às suas características físico-mecânicas, tentando elevar o seu desempenho.

A escolha do tijolo solo-cimento tem o propósito de salvaguardar os aspectos ambientais relativos à atmosfera e à biosfera, já que é prensado. Ao contrário da produção de tijolos ou blocos cerâmicos, não se faz necessário a sua queima, evitando a coleta de lenhas para serem usadas como combustíveis, e que, ao tempo em que são incineradas, lançam-se resíduos sólidos em forma de fuligens como poluentes à atmosfera. Ademais, a extração dessa madeira, se de forma desordenada, enseja em desmatamento e contribui para escassez de recursos naturais, impactando o ecossistema.

Assim sendo, também a escolha foi intencional em relação aos resíduos de corte de mármore e granito (RBMG) como adição, de forma ecologicamente correta, à composição contida no traço objeto de estudo, que irá produzir os tijolos solo-cimento, com a finalidade de proporcionar um destino mais limpo ao descarte deste. Outrossim, tal escolha se deu, pelo fato de esses resíduos serem provenientes de lamas abrasivas em forma de poupa (LIMA; NEVES; CARVALHO, 2010, p. 2), a qual se caracteriza como sendo a massa mineral resultante dos processos de serragem e polimento de rochas ornamentais, constituída de água, cal, granalha e pó de granito. Porém, ao contrário do que dizem os autores acima: “que apesar de não serem biodegradáveis, são classificadas como resíduos classe IIB – inerte e não apresenta toxicidade, segundo a NBR 10004 (ABNT 2004)”, estudos mais recentes, nos quais destaca-se De Freitas; Raymundo; De Jesus (2012, p. 623), afirmam veementemente em suas pesquisas que as características químicas dos resíduos de serragem segregados de rochas ornamentais, ora classificados pela norma na classe IIB, não deveriam está nesta categoria, pois se tratam de resíduos perigoso, e precisariam encontrarem-se classificados como Classe I, vejamos:

Levando-se em conta a NBR 10.004 (ABNT 2004), algumas das amostras de resíduos analisadas apresentaram pHs maiores do que 12,5, o que já é suficiente para caracterizá-los como resíduos perigosos (Classe I) e, portanto, corrosivos.

Tais resíduos advindos desses beneficiamentos são basicamente de dois tipos: frações de pedras desperdiçadas por possuírem menor qualidade e pouco valor comercial e a lama abrasiva. A primeira polui visualmente o ambiente na sua extração, a segunda polui de forma mais severa o meio ambiente com sua lama da serragem, que normalmente é lançada nos tanques de decantação nos pátios de empresas, e quando retiradas, muitas vezes são descartadas, sem que seja submetida a tratamento, no solo. A figura 1 mostra o descarte de lama abrasiva em um córrego, em Poço Dantas, Cachoeiro de Itapemirim/ES, material descartado *in natura* no solo.



Figura 1 - Descarte de lama abrasiva *in natura*

Fonte: <<http://www.folhavoria.com.br/policia/noticia/2012/12/policia-militar-ambiental-flagra-poluicao-com-residuos-de-pedreira-em-rio-de-cachoeiro-de-itapemirim.html>>. Acessado em 16/04/2016.

Quanto ao outro componente adicionado nestas análises, o resíduo de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016), a estimativa de produção de cana-de-açúcar no Brasil para 2016 é de 721,4 milhões de toneladas. Um dos problemas que enfrentam os produtores de seus derivados é o destino dos resíduos do CBCA ao saírem das fornalhas das caldeiras com a finalidade de produção de energia elétrica, pois estes resíduos se encontram desprovidos de destinação final que venha mitigar impactos ambientais por eles produzidos, já que vêm sendo descartados no solo e sem obedecer a critérios técnicos e, conseqüentemente, agredindo o meio ambiente.

Conforme Da Costa; Silva (2016, p. 16), pequena parte dessas cinzas são aplicadas como adubação, embora existam dúvidas sobre a sua real eficácia. Também, segundo Feitosa; Maltone; Silva (2009, p. 4), há necessidade de estudo em condições de campo para determinação da melhor forma de aplicação das cinzas de cana no solo, ou seja, precisa-se de mais pesquisa sobre melhoramentos em relação ao CBCA na agricultura. Neste sentido, o aproveitamento das mesmas na construção civil, em tijolos de solo-cimento, tem sua viabilidade ante o seu desenvolvimento sustentável, ou seja, sua produção não compromete gerações futuras, posto que sua matéria prima é solo cru, abundante na natureza, isto vincula à proteção do meio ambiente em sua produção, ao mesmo tempo em que pode oferecer um melhor desempenho concernente às propriedades físicas e mecânicas, a saber: maior resistência à compressão, menor absorção de água, menor retração, bem como poder proporcionar um menor custo de venda como insumo quando agregado a material de descarte, pois tornar-se-á mais econômico pelo fato de este não ter valor agregado.

1.1 Problemática

O Brasil sempre teve tradição em exportação de derivados de cana-de-açúcar desde quando colônia de Portugal. A figura 2 mostra um registro histórico deste ciclo, que, mesmo com o passar dos séculos, com o aumento da população do planeta e o desenvolvimento tecnológico, adveio maior demanda no consumo de açúcar e álcool, e, economicamente, o Brasil aproveitou os momentos oportunos para elevar suas áreas de cultivo de forma significativa em seu território. Atualmente, de acordo com dados do Ministério da Agricultura, no *site* Portal Brasil (2015), “O Brasil não é apenas o maior produtor de cana. É também o primeiro do mundo na produção de açúcar e etanol e conquista, cada vez mais, o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética”.



Figura 2 - Pintura histórica do ciclo da cana de açúcar.

Fonte: <<http://www.historiabrasileira.com/brasil-colonia/ciclo-da-cana-de-acucar/>>. Acessado em 20/02/2016.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016), a produção de cana-de-açúcar no Brasil em 2015 foi de 750,1 milhões de toneladas, e, conforme levantamento sistemático da produção agrícola (Lspa), a estimativa de produção de cana-de-açúcar no Brasil para 2016 é de 721,4 milhões de toneladas, com queda de 4,4% em relação a 2015, devida a proibição da queima da palha para preparação da extração da cana nos canaviais a partir deste ano no estado de São Paulo, ora maior produtor do País, segundo divulgou o *site* Consultor Jurídico (2015), e, um dos problemas que vinha sendo enfrentados pelos produtores de açúcar e álcool, que versa sobre o descarte das cinzas, majorou-se ainda mais, já que antes se tratava apenas da destinação dos resíduos proveniente da queima do bagaço da cana. Agora, além disso, adicionaram-se também aos resíduos da queimada da palha da cana extraídas dos canaviais, remanescentes do corte mecanizado, já que essas palhas e bagaços irão, da mesma maneira, para as fornalhas das caldeiras como a finalidade de produção de energia elétrica, e as cinzas, resíduos finais, encontram-se desprovidas de destinação que venha mitigar impactos ambientais por elas provocados, já que vêm sendo descartadas no solo e sem obedecer a critérios técnicos, agredindo o meio ambiente, como mostra a figura 3.



Figura 3 - Descarte de cinzas *in natura* no solo.

Fonte: <http://ecomaquinas.com.br/_en/news/93>, acessada em 20/02/2016.

Em consulta pessoal feita pelo autor à Agência do IBGE em Delmiro Gouveia/AL, foram prestadas informações sobre a produção de cana-de-açúcar em Alagoas em 2015, que foi estimada em de 26,78 milhões de toneladas. Isto significa que nosso estado também participa deste problema referente a resíduos de CBCA.

Em relação à produção de mármore e granito, segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos do beneficiamento de granito provêm das frações de pedras desperdiçadas por possuírem menor qualidade ou pouco valor comercial e a lama, em forma de polpa, que se caracterizam como sendo a massa mineral resultante dos processos da serragem, polimento e corte de pedras ornamentais. A lama é constituída por pó de granito, cal e granalha, resíduos estes que não são biodegradáveis e classificados como resíduos da classe I (perigoso), segundo De Freitas; Raymundo; De Jesus (2012, p. 623), já discutido em item anterior, Introdução.

Os materiais rochosos constituem uma das matérias-primas mais antigas que o ser humano já utilizou como utensílio, posto que a idade da pedra lascada data de 2 milhões de anos a.C, e tem sido colaboradora inestimável da história do povo.

Conforme Lima (2010, p. 25), o Brasil detém a maior parte das reservas mundiais de granito, as principais estão localizadas no Espírito Santo, Minas Gerais e estados nordestinos, principalmente Bahia e Ceará.

A partir da década de 1960, surgiram muitas empresas de beneficiamento de granito no país, e, apesar de o segmento significar incrementos sociais e econômicos, não se pôde

desconsiderar os problemas ambientais decorrentes desta atividade, como a geração expressivas de resíduos, que na maioria das vezes são descartados de forma inadequada contaminando recursos hídricos, solo, atmosfera, causando danos à saúde, bem como desfigurando a paisagem como mostra a figura 4.



Figura 4 - Poluição visual provinda da extração de granito

Fonte: <<http://sitebarra.com.br/2012/05/desde-a-decada-de-80-a-extracao-de-granito-e-base-da-economia-de-barra-de-sao-francisco.html>>. Acessado em 16/04/2016.

Conforme cita Teixeira; De Melo; De Oliveira (2012, p. 2), a indústria extrativa de mármore e granito no Brasil, nos anos 80, impulsionada pela grande demanda de exportação, teve um crescimento fenomenal neste setor. O Brasil tornou-se um grande exportador deste recurso mineral. Segundo dados publicados no sumário mineral de 2011 do Departamento Nacional de Produção Mineral, em 2010 os brasileiros ocuparam a 4ª posição entre os maiores produtores e exportadores de pedras ornamentais do mundo (DNPM, 2011). Atualmente, segundo à revista M&T – Manutenção Tecnológica (2015), com dados tirados da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – Abirochas: “O Brasil é hoje o maior produtor mundial de chapas de granito, quartzitos e outras rochas abrasivas”, “Para 2015, as projeções mais conservadoras do setor deve fechar abaixo dos R\$ 5 bilhões (somando exportações e vendas locais) registrados no ano passado”.

Ainda conforme cita à revista: “Hoje, 80% do faturamento com exportações correspondem a produtos acabados, enquanto o restante fica a cargo da exportação de blocos brutos”, detalha o geólogo Cid Chiodi Filho, consultor da Abirochas.

Visando a ótica comercial, essas pedras ornamentais podem ser divididas em mármore e granitos. No caso dos mármore, entram as rochas carbonáticas; já os granitos basicamente são formados de rochas silicáticas. Alguns outros tipos litológicos, como os quartzitos, serpentinitos, travertinos e ardósias também são muito importantes setorialmente. (MME, 2009).

A quantidade de resíduos sólidos provenientes da extração e do beneficiamento de rochas é muito grande em relação ao de outros minerais. Conforme registra Borlini et al. (sem data, p. 10), esse processamento produz, em todas as etapas, perdas de material que atingem a faixa de 65% a 70%, em média. Grande parte desses resíduos é largada nas pedreiras causando um grande impacto ambiental, visual e estético. Esses são os denominados resíduos grossos, como: blocos de tamanhos irregulares, blocos com defeitos, lascas de rochas, entre outros. Mas também podem provir das serrarias, como as aparas, pedaços de peças, etc.. Entretanto, os resíduos finos e ultrafinos que são gerados pelas serrarias em forma de efluentes devido à água usada para resfriamento, são constituídos basicamente de finos de rocha, água, cal, finos de granalha, formando a chamada lama abrasiva, que traz muita preocupação ao ser lançada em corpos hídricos por causarem alteração no pH, turbidez, assoreamento, contaminando afluentes etc.

A figura 5 mostra uma pedra sendo serrada e resfriada com água que leva o pó da serragem transformando-o em lama, onde se vê claramente lacunas que são os caminhos das serras; estas serras funcionam como linhas paralelas, como se estivessem serrando uma barra de sabão com teares de linhas, transformando-o em lâminas paralelas. Observem na figura 5 que, se forem juntados todos os espaços feitos pelas lâminas serradas num canto ao lado, perceber-se-ia que as lacunas somariam aproximadamente 25% de vazios quer forma transformados em pó, e este pó em lamas abrasivas, que são geralmente descartadas em córregos que irão parar em afluentes, contaminando a natureza. Essa lama, além de produzir turbidez nos corpos hídricos, contaminando a água, também impede a passagem da luz solar; os raios solares, providos de ondas ultravioletas, são responsáveis pela desinfecção da água. Por outro lado, a turbidez também prejudica a fotossíntese das plantas aquáticas que alimentam os peixes, sem falar que a lama é pesada e, ao decantar, impermeabiliza o fundo

dos rios, além do seu pH ser muito alto, ou seja, corrosivo; tudo isto agride a natureza com impactos em cadeias.



Figura 5 - Corte de granito.

Fonte: Da Silva.

Conforme Gonçalves; Moura (2002, p. 1) na serragem de blocos, cerca de 25% a 30% do bloco é transformado em pó. Segundo informação do Centro Brasileiro dos Exportadores de Rochas Ornamentais (Centrorochas), órgão governamental, em seu Informativo das Exportações de Rocha (2016, p. 2), que fornece dados estatísticos que entre os meses de junho de 2014 a junho de 2015, a produção brasileira atingiu 117,03 bilhões de dólares em 2015, com uma estimativa de crescimento de 5%, em relação a 2014, e que o maior estado produtor, Espírito Santo, produziu 95,91 bilhões de dólares no mesmo período. Vide tabela 1, que registra a exportação por tonelada-ano.

Tabela 1 - Exportação brasileira de rochas ornamentais período jun./2014 a jun./2015

	EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS JUNHO 2014 X 2015								
	2014			2015			VARIÇÃO %		
	US\$	PESO (ton)	Preço Médio	US\$	PESO (ton)	Preço Médio	US\$	PESO (ton)	Preço Médio
ROCHAS CARBONÁTICAS BRUTAS	1.066.617	5.254	203,01	326.651	552	591,76	-69,38%	-89,49%	191,49%
ROCHAS SILICÁTICAS BRUTAS	21.960.587	118.609	185,15	19.965.648	100.619	198,43	-9,08%	-15,17%	7,17%
ROCHAS CARBONÁTICAS MANUFATURADAS	2.536.874	1.978	1.282,54	4.042.124	2.960	1.365,58	59,33%	49,65%	6,47%
ROCHAS SILICÁTICAS MANUFATURADAS	85.010.252	104.941	810,08	87.727.733	115.764	757,82	3,20%	10,31%	-6,45%
ARDOSIAS	3.837.856	7.832	490,02	3.848.695	8.812	436,76	0,28%	12,51%	-10,87%
OUTRAS ROCHAS	1.185.865	3.378	351,06	1.122.534	3.624	309,75	-5,34%	7,28%	-11,77%
TOTAL GERAL	115.598.051	241.992	477,69	117.033.383	232.331	503,74	1,24%	-3,99%	5,45%

Fonte: <<http://www.centrorochas.org.br/>>. Acesso em 18/07/2016.

A tabela 1, mostra na parte amarela, referente ao ano de 2015, na última linha (Total Geral) valores em dólares, peso, e valores do preço médio. Porém, o que interessa aqui é o peso produzido para importação, o qual no ano de 2015 foi de 232.331 toneladas, sendo que de 25% a 30% foi transformado em lama abrasiva e descartada, aqui no Brasil, em forma de rejeitos.

1.1.1 Resíduos sólidos – classificação.

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), resíduos nos estados sólido e semissólido são resultantes da atividade humana, que derivam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.

De acordo com a norma supracitada, os resíduos são divididos em três classes:

- a) Classe I ou perigosos: são aqueles que, isoladamente ou por mistura, em função de suas características de toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, radioatividade e patogenicidade em geral, podem apresentar riscos à saúde pública (com aumento de mortalidade ou de morbidade) ou efeitos adversos ao meio ambiente, se manuseados ou dispostos sem os devidos cuidados.
- b) Classe II A - não perigosos, não inertes: são aqueles que não se enquadram na classe I e não são inertes, podendo apresentar algumas propriedades, como solubilidade em água, biodegradabilidade e combustibilidade.
- c) Classe II B - não perigosos, inertes: são aqueles que não se solubilizam ou que não tem nenhum de seus componentes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, quando submetidos a um teste padrão de solubilização, conforme NBR 10006 - “Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos” (ABNT, 2004a).

O RCMG utilizado nesta pesquisa se enquadra nos resíduos industriais “Classe I – Perigoso”, segundo De Freitas; Raymundo; De Jesus (2012, p. 623). Embora a NBR 10004 (ABNT, 2004a) o enquadre como Classe II B.

Quanto ao resíduo de CBCA, LIMA et al. (2009, p. 94-95), destaca que, apesar dos valores, no ensaio de solubilização, encontrarem-se acima do permitido pela NBR 10006 (ABNT 2004), os resultados do extrato lixiviado se mantiveram dentro do limite para o grupo dos componentes inorgânicos, segundo o anexo F da NBR 10004 (ABNT 2004a). Dessa forma, de acordo com a NBR 10004 (ABNT 2004a), todas as amostras de resíduos da queima do bagaço de cana-de-açúcar analisadas podem ser classificadas, pelos parâmetros ora apresentados, como “Resíduo Não Perigoso – Classe II A – Não inerte”. Os resíduos com tal classificação podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Então, a problemática são estes descartes de cinza de bagaço de cana de açúcar e de lamas abrasivas, e uma das soluções será adicioná-los a tijolos solo-cimento e reaproveitá-los como material de construção civil, resolvendo assim um problema ambiental.

1.2 Objetivos gerais

O objetivo geral deste trabalho é estudar meios ecológicos com o fim de buscar uma destinação mais limpa a resíduos que causam danos ambientais através dos seus descartes na natureza agredindo o solo, a atmosfera, os corpos hídricos, a biodiversidade etc., em especial, empregando RCMG e CBCA na produção de tijolos solo-cimento, de maneira sustentável, com a finalidade de mitigar impactos provenientes dos descartes de cinzas de queima do bagaço da cana-de-açúcar no solo, assim como mitigar o descarte de lamas abrasivas provenientes do corte e do polimento de lâminas de pedras ornamentais, geralmente lançadas em corpos hídricos, buscando assim novas alternativas que possam, talvez um dia, diminuir a produção de blocos cerâmicos, os quais muitas vezes promovem desmatamento desordenado pela necessidade do seu cozimento através da queima de madeira; lançamento de poluentes em forma de resíduos sólidos na atmosfera (carbono em forma de fumaça); e das cinzas geralmente descartadas no solo sem tratamento. Dessa forma, este trabalho procura buscar um controle ambiental da sua produção “do berço ao túmulo”, preocupando-se desde fabricação (processo inicial) até o seu descarte (processo final), pois os RCMG e as CBCA, quando

aplicados à construção civil, ainda podem ser reutilizados depois atingirem a sua vida útil, quando triturado e submetidos a beneficiamento, no mesmo ramo.

1.2.1 Objetivos específicos

- a) Avaliar através de ensaios técnico/científicos as características físicas e mecânicas dos tijolos solo-cimento com adição de RPMG e CBCA e observar a viabilidade de sua produção.
- b) Buscar um tijolo solo-cimento mais econômico.
- c) Determinar qual o teor de RCMG e CBCA ideal para ser usado na construção civil, como adição em tijolos solo-cimento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo registra a evolução das técnicas usadas com solo cru na construção de habitações até se chegar ao tijolo solo-cimento, que, conforme Chagas *et al.* (2014, p. 14): “o conceito de tijolo solo cimento, também conhecido por tijolo ecológico, baseia-se numa mistura de solo, cimento e água, compactada e curada à sombra”.

2.1 Solo

Depois da “revolução agrícola” o ser humano deixou de ser nômade e passou a viver em aldeias, construindo suas habitações com recursos provindos da natureza, e, segundo Alexandre; Alves; Lima (2009, p. 16), “sabe-se que o uso abundante da terra crua pelo homem vem desde a Antiguidade e é confirmado nos sítios arqueológicos das antigas civilizações do mundo”.

Segundo Fassoni (2000) *apud* Alexandre; Alves; Lima (2009, p. 16), as mais remotas construções datam de cerca de 10.000 anos atrás em Jericó no vale do rio Jordão. O seu emprego tornou-se mais intensivo a partir de 3.000 a.C. por povos que se instalaram em vales com áreas argilosas e inundáveis de grandes rios.

São milenares as construções inventadas com uso de argila, como a taipa de pilão, o adobe e o pau-a-pique etc.. Estas obras são feitas à base de aglomerante natural (argila), podendo ser armadas com madeira e também conterem alguma adição de fibras vegetais, óleos etc.

2.1.1 Tijolo de adobe

O adobe é um tijolo confeccionado a cru, usando-se solo argiloso, fibras vegetais (palhas) e água. A mistura forma uma massa plástica para ser moldada em fôrmas e secada ao sol, dispensando a queima. Tem geometria, predominantemente, de paralelepípedo, conforme a figura 06.



Figura 6 – Tijolo de adobe

Fonte: <<http://professoralucianekawa.blogspot.com.br/2015/06/taipa-arquitetura-da-terra.html>. Acesso em 15/06/2016.

Trata-se de um artifício sustentável por usar matéria-prima em abundância extraída da natureza sem causar impactos; porém apresenta baixa resistência mecânica e física. Versa sobre um dos materiais mais antigos da construção civil, dado que se registram vestígios arqueológicos providos das antigas civilizações Egípcias e Mesopotâmicas.

2.1.2 Arquitetura de pau-a-pique

Arquitetura de pau-a-pique, também conhecida como taipa de mão, incide numa técnica construtiva muito utilizada no Brasil nos séculos XVIII e XIX (Período Colonial). Consiste em uma estrutura armada de madeiras entrelaçadas, com formato quadriculado, com amarras em seus cruzamentos feitas por sipós, que dão resistência às paredes ao ser preenchidas por solo (massa plástica constituída de argila e água), ressecada posteriormente pelo sol. A estrutura também é reforçada por vigas horizontais de madeira, tendo o acabamento feito com emboço, ocultando assim a rusticidade, e posteriormente caiada, como mostra a figura 7.



Figura 7 – Arquitetura à base de Pau-a-pique

Fonte: <<http://professoralucianekawa.blogspot.com.br/2015/06/taipa-arquitetura-da-terra.html>>. Acesso em 15/06/2016

Esse tipo de construção no Brasil alcançou até os nossos dias, sendo muito utilizada na zona rural por agricultores carentes, por se tratar de um tipo de arquitetura considerada de baixo custo. Todavia, não tem boa resistência físico-mecânica e é comum apresentar rachaduras e fendas, as quais se originaram em abrigo do inseto barbeiro (*Triatoma infestans*), transmissor da doença de chagas transmitida pelo protozoário *Trypanosoma cruzi*, sendo que a maioria dessas habitações foram substituídas por casas de alvenaria através de um programa do Governo Federal nos anos 90, no Brasil. A figura 8 mostra uma fotografia de casa de alvenaria, do lado esquerdo, sendo construída para que substituir à de taipa de pau-a-pique, do lado direito.



Figura 8 – Habitação de pau-a-pique trocada por casa de alvenaria

Fonte: <<http://trilharadicaldepenaforte.blogspot.com.br/2011/09/penaforte-ce-programa-habitacional.html>>. Acesso em 15/06/2016.

2.1.3 *Taipa de pilão*

A taipa de pilão é uma técnica utilizada para construir paredes através de solo compactado. Consiste em comprimir solo argiloso em moldes de madeira, denominados de *taipais*, onde é submetido a uma compressão mecânica horizontal, disposto em camadas de aproximadamente quinze centímetros de altura até atingir a densidade ideal, criando assim uma estrutura resistente e durável. A figura 9 mostra um modo rústico de executar este tipo de técnica.



Figura 9 – Parede de taipa de pilão

Fonte: <http://www.recriarcomvoce.com.br/blog_recriar/category/materiais/alvenaria/>. Acesso em 15/06/2016.

Essa técnica ainda vem sendo milenarmente utilizada no Norte da África. Foi bastante explorada no Império Romano na arquitetura de fortificações, onde se arroteavam de paredes de pedra às torres, e o seu núcleo era composto por solo apiloado para dar estabilidade e resistência ao impacto. A taipa de pilão foi usada por diversas civilizações desde a Idade Antiga, destacando-se no Oriente os extensos trechos usados na Muralha da China. Com o advento da sustentabilidade esta técnica vem sendo explorada atualmente.

2.1.4 Bloco de terra comprimida (BTC)

Segundo Barreto (2011, p. 29) o BTC proveio do aperfeiçoamento do adobe, usando-se da estabilização do solo confinado em molde, por meios mecânicos (prensa). Dispensa o uso de aglomerantes cimentantes. A terra prensada promove mais resistência e mais durabilidade em relação ao adobe:

Discurso sobre momento chave da evolução tecnológica e o baixo custo da arquitetura e construção com terra – O bloco de terra compactada foi a evolução mais marcante do adobe nos inícios da arquitetura moderna da construção com terra.

A compactação da terra já tinha sido trabalhada no século XVIII por François Cointeraux, que adaptou técnicas e instrumento para a compactação do solo (chamada de nova taipa de pilão) a partir do funcionamento da prensa do vinho (GUILLAUD, H.; JOFFROY, T.; ODUL, P 1995).

Ainda, conforme Barreto (2011, p. 29), “Mais tarde, na década de 1930, o uso do cimento estabilizante do solo começou quando a Portland Cement Association (PCA) iniciou um intenso programa de pesquisa visando à utilização do solo estabilizado com cimento para construção de rodovias”.

Barreto (2011, p. 20-30) assevera que alguns pesquisadores envolvidos no assunto foram Catton (1959) e Merrill (1941); estes anteciparam a possibilidade de utilização ante a preocupação com os problemas da pobreza em relação à habitação na América Latina, usando o novo material estudado como o discurso para resolvê-los por volta de 1950. Tais estudos repercutiram no desenvolvimento da máquina CINVA-RAN, a qual marcou o começo de um novo sistema, processo e material construtivo, baseado na compactação de um bloco de terra crua, posteriormente otimizado com a estabilização com materiais cimentantes.

Ainda Barreto (2011, p. 29-30) declara:

Desta forma, se contextualiza mais um disso da arquitetura e construção com terra que abre à evolução das tecnologias com terra ligada à racionalização, à pobreza e à produção habitacional de baixo custo. Esta máquina foi usada no mundo todo e na década de 1970 e 1980 dá lugar ao desenvolvimento de uma nova geração de prensas manuais, mecânicas e hidráulicas, provocando a inclusão do material terra no mercado da construção, e também o desenvolvimento de estudos para a construção de habitações de interesse social estabilizando o solo por cimentação. Um exemplo disso foi a proposta do Bloco Mattone desenvolvido na Itália. Atualmente existem também outras máquinas que otimizam o trabalho, sobretudo, da taipa de pilão e de adobe.

2.2 Solo-cimento

Segundo Abiko (1983), *apud*: Marinho; Penteadó (2011, p. 17), o solo cimento foi utilizado pela primeira vez em 1915, nos Estados Unidos da América, pelo engenheiro Bert Reno. Este pavimentou uma rua com uma mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland. Porém, só em 1935, a *Portland Cement Association* (PCA) iniciou

pesquisas e estudos sobre tal tecnologia. Desde então, o solo-cimento tem sido empregado principalmente na pavimentação.

Segundo Grande (2003, p. 38), no Brasil a utilização de solo-cimento foi intensificada a partir de 1940, quando a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) já dispunha de um método de dosagem para o emprego em obras de pavimentação inspirado nos moldes da experiência da PCA Americana.

Atualmente é uma técnica muito usada para estabilização do solo em pavimentação, exemplo disso é a figura 10, que mostra uma *motoniveladora* trabalhando em esparrame de solo-cimento com a finalidade de estabilização do solo para pavimentação.



Figura 10 – Esparrame de solo-cimento por motoniveladora

Fonte: <http://www.camacari.ba.gov.br/2015/detalhe_noticia.php?cod_noticia=11992#prettyPhoto>. Acesso em 15/06/2016.

2.3 Prensa CINVA-Ran

A prensa CINVA-Ran, bastante popularizada no âmbito da construção civil, entretanto atualmente com feições tecnológicas diferentes da que mostra a figura 11, foi desenvolvida na Colômbia pelo engenheiro chileno Raúl Ramizez, no centro de pesquisas CINVA, e, conforme cita Barreto (2011, p. 29):

O projeto do CINVA-RAN era um projeto apoiado pela OEA (1950-1961) em convênio com a Universidade Nacional da Colômbia, onde era promovido o

intercâmbio científico e a capacitação de profissionais. Constitui-se na Colômbia, escolas e casas com a mão de obra dos camponeses (SANCHEZ 2008).

Ainda citando Barreto (2011, p. 29), em 1956, chega à Colômbia o engenheiro chileno Raúl Ramirez, que trabalhava no Centro Interamericano de Vivenda CINVA da Universidade Nacional de Bogotá. Este engenheiro desenvolveu a prensa CINVA-Ran. Trata-se de uma máquina para a fabricação de tijolos de terra prensada, com a finalidade de produção em massa e com baixo custo, para solucionar problemas de moradias populares naquele país. A figura 11 mostra um operador utilizando o primeiro modelo deste tipo prensa.



Figura 11 - Prensa CINVA-Ran.

Fonte: Chaluppe; Leite; Pinto (2015, p. 35), apud Barbosa; Mattone; Mesbah (2002).

2.4 Tijolos de solo-cimento

O tijolo de solo-cimento foi um aperfeiçoamento do BTC, adicionado a aglomerantes artificiais (cal ou cimento Portland), depois da criação da prensa CINVA-RAN pelo engenheiro Raúl Ramirez, na década de 1950.

No entanto, atualmente, é utilizado o material aglomerante de melhor qualidade (cimento Portland), resultando na mistura de solo, cimento e água que, compactado com o teor ótimo de umidade, e sob a máxima densidade, em proporções previamente estabelecidas,

adquire resistência e durabilidade através das reações de hidratação do cimento, formando uma mistura homogênea (ABCP, 1986; Grande, 2003).

Sua vantagem em relação ao adobe é que esta técnica utiliza menor proporção de água, e, como consequência, tem-se um menor índice de retração, além de permitir estocagem imediata dada a sua compacidade; ademais, tem maior resistência físico-mecânica.

2.5 Tijolos de solo-cimento no Brasil

Na década de 1970, com o advento da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, em 1972, em Estocolmo, surge a preocupação com criação de leis para o controle ambiental. Com isto, acende no mundo o uso de solo cimento.

No Brasil, conforme Lima (2006), apud Santos Neto (2015, p. 16):

O solo-cimento só foi largamente aplicado em moradias por volta de 1978, quando o antigo Banco Nacional da Habitação (BNH) confirmou que a técnica era viável para construções de casas populares. Na época, estudos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento mostraram que, além do bom desempenho termo-acústico, o solo-cimento aplicado em construções levava a uma redução de custos de 20% a 40%, comparado com a alvenaria tradicional de tijolos de cerâmica ou barro.

A partir disto surgiram novos paradigmas como o conceito de um tijolo ecológico, sendo estudados diversos tipos de mistura em sua composição, com finalidade de incorporar resíduos para dar uma destinação mais limpa em relação a dejetos provenientes das produções industriais.

2.6 Desvantagens do uso de tijolo solo-cimento

As desvantagens que merecem relevância são poucas. Uma delas é o fato da densidade do tijolo solo-cimento ser bem maior que a do bloco cerâmico. Para demonstrar isso, como mostra a figura 12, o autor separou aleatoriamente seis blocos cerâmicos de 6 furos, de

marcas diversas, pesou as suas massas, e obteve como massa média 1805 g e volume de 2800 cm³.

Em seguida, pesou também 5 tijolo solo-cimento com dois furos, com traços diferentes, e a massa média resultou em 1.805,2 g e volume médio de 1.414,46 cm³.

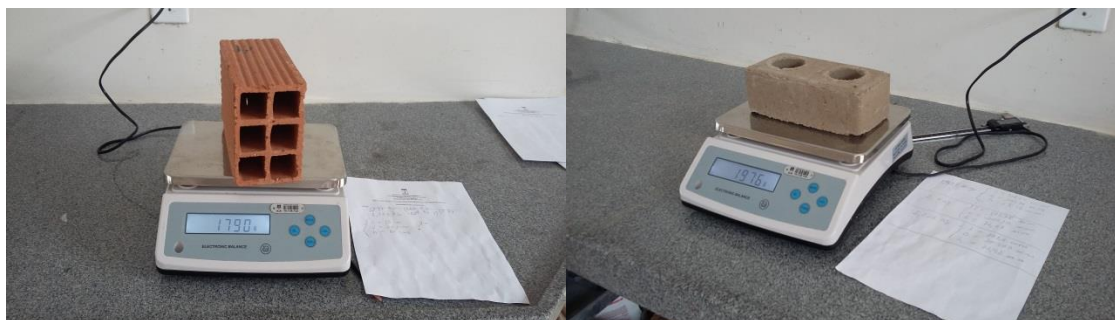


Figura 12– Bloco cerâmico e tijolo solo-cimento sendo aferidos

Fonte: Autor.

Aplicou os valores na Equação 1, e se obteve as suas densidades médias:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

ρ = densidade

m = massa

v = volume

Para o bloco cerâmico apresenta uma densidade média de 0,38 g/cm³, enquanto que a densidade média do tijolo solo-cimento é de 1,28 g/cm³. Ou seja, o tijolo solo-cimento tem uma densidade três vezes maior que o cerâmico, impossibilitando seu uso em edificações com muitos pavimentos, pois aumentaria os *esforços* sobre sua *estrutura portante*.

Outra desvantagem do tijolo solo-cimento é a questão econômica ligada à cultura, pois existe uma maior preferência no mercado brasileiro pelos blocos cerâmico. Assim, o tijolo solo-cimento não se tornou ainda tão comercial quanto o bloco tradicional.

Também, é importante de se frisar que no tijolo solo-cimento é fundamental o extremo cuidado com a dosagem, pois um erro na dosagem pode favorecer o surgimento de patologias na construção.

2.7 Vantagens do tijolo solo-cimento

Existem vários benefícios na produção de tijolos solo-cimento, alguns deles antes mesmo do seu processo de fabricação, visto que é economicamente viável pelo fato de sua matéria-prima ser abundante no planeta, pois se trata *terra*.

Quanto à prensagem mecânica à cru, esta proporciona aumento em sua produtividade, pois seu manuseio dispensa mão-de-obra qualificada. Em três horas de trabalho o Autor, com a ajuda de dois colegas, nesta pesquisa, produziu 96 tijolos, mesmo sem terem a prática com este tipo de trabalho braçal, e ainda que usando uma prensa manual, mostrada na figura 13, a qual também mostra os tijolos produzidos e postos sobre uma mesa, em situação de cura.



Figura 13 – Prensa usada no laboratório e os tijolos confeccionado em 3 horas de trabalho

Fonte: Autor

Outra vantagem é que a produção demanda pouco tempo de cura. De acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2013b), seu tempo de cura é de 7 dias. Sua resistência à compressão equipara-se à do tijolo convencional; possui baixo consumo de água; demanda baixo custo de energia, pois dispensa a queima em forno e, conseqüentemente, o uso de combustível a gás ou lenha; logo, contribui para a mitigação de poluentes – por isto é chamado de tijolo ecológico.

Da mesma maneira, também oferece flexibilidade em relação às necessidades das formas geométricas exigidas em cada situação na alvenaria; diminui as perdas com excesso de reboco, visto que se pode utilizar tijolo inteiro, meio tijolo ou canaleta, o que o torna econômica a obra por dispensar quebras. Os moldes se encaixam nas matrizes com praticidade (figura 14); tais fôrmas são acopladas à máquina através de parafusos de fenda.



Figura 14 – Moldes que se adaptam à prensa pra produzir o formato desejado

Fonte: <http://engenhariasigma.blogspot.com.br/2014/11/movimento-sustentavel-tijolo-ecologico.html> e <https://paoecologia.wordpress.com/2011/09/22/tijolo-ecologico-e-opcao-economica-para-a-construcao-civil-casas-ecologicas-e-sustentaveis/>.

Quanto ao uso, resiste melhor a choques em seu transporte, por ser mais denso; pode ser produzido no próprio local da obra, já que seus equipamentos de produção são pequenos e funcionais; tem boa durabilidade; promove mais segurança estrutural, tendo em vista que os furos servem para passagem de aço na estrutura. O aço adere-se por meio de *grout* (microconcreto), e esta estrutura pode até servir como pilares de baixa resistência; suas canaletas foram projetadas para se introduzir cintas armadas, vergas e contra-vergas; seus furos também permitem que sejam embutidas neles as redes hidráulicas, elétricas e de gás, dispensando corte nas paredes; muitas vezes as instalações elétricas dispensam conduítes, pois os furos já servem de passagens, visto que cada condutor possui seu isolamento próprio; também os furos se ajustam na montagem por encaixes quando colocados uns sobre os outros, reduzindo-se o tempo na execução do trabalho de assentamento; e, por ser modular, possui menor taxa de desperdício ao final da obra, dado que o seu acabamento é montado como uma espécie de *lego*; dispensa o emboço, apenas se trabalha com chapisco e reboco; também reduz a quantidade de argamassa ou cola empregada entre eles, ante à sua uniformidade; ademais, pode ficar aparente, sem comprometimento da estética. Vejam exemplos de montagens de paredes com tijolos solo-cimento na figura 15.



Figura 15 – Flexibilidade do tijolo solo-cimento

Fontes: <<https://www.youtube.com/watch?v=tGTbweOQBAG>>; <<http://ecomeninas.blogspot.com.br/2011/04/tijolos-e-meio-ambiente.html>>; <<http://paladinobr.blogspot.com.br/2011/04/tijolo-ecologico.html>>; <<http://tijoleko.blogspot.com.br/2011/11/obras-em-pirenopolis-de-vento-em-popa.html>>; <http://www.recriarcomvoce.com.br/blog_recriar/tag/materiais-2/page/4/>; <<http://www.tijolosolocimento.com.br/2013/07/itens-opcionais.html>>; <http://cercavivasansaodocampo.blogspot.com.br/2012_11_01_archive.html>; <http://cercavivasansaodocampo.blogspot.com.br/2012_11_01_archive.html>; <http://cercavivasansaodocampo.blogspot.com.br/2012_11_01_archive.html>; <http://www.recriarcomvoce.com.br/blog_recriar/category/materiais/estrutura/page/5/>; <<http://construirmais.eco.br/blog/page/2/>>; <<http://www.tijolosecolgicos.com.br/>>; <http://fotos.habitissimo.com.br/foto/tijolo-ecologico-em-fortaleza_190000>.

Seus dois furos também colaboram com o isolamento térmico e acústico, pois compõem câmaras com ar no âmago das alvenarias, proporcionando características isolantes, promovendo conforto ambiental, trazendo economia de energia elétrica no condicionamento dos ambientes; além de proporcionar uma boa imagem institucional à empresa fabricante e a construtora por se tratar de uma produção limpa; conseqüentemente, promove boa relação econômico/sócio/ambiental com os clientes; ademais, a principal vantagem do tijolo de solo cimento, como citado de forma especial mais adiante, é a de oferecer possibilidade de se incorporar outros materiais, formando compósitos em sua fabricação, como adições de rejeitos industriais (sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto-forno, finos de serrarias, CBCA e outros). Para isto, deve-se realizar estudos para verificar e melhorar sua qualidade, não só apenas para torná-lo mais resistente, mas também para conseguir uma produção mais econômica, associada ao desenvolvimento sustentável.

2.8 Pesquisas realizadas com adições em tijolos solo-cimento

A maior vantagem em tijolos solo-cimento é a facilidade que ele tem em poder ser testado e estudado com uma variedade enorme de adição de outros materiais, estes materiais geralmente são resíduos sólidos descartados em grandes quantidades pelas indústrias.

Atualmente existem inúmeros estudos realizados com adições de resíduos em tijolos solo-cimento.

Sobre pesquisa que envolve o uso de RCMG como adição, encontra-se o trabalho de Lima; Neves e Carvalho (2009), que usaram um traço 1:9 (cimento/solo) adicionado a ele 30%, 40% e 50% de RCMG em tijolos solo/cimento; todavia, não atingiu a resistência média à compressão normativa (que é de 2,0 MPa), conforme tabela 2, em seguida:

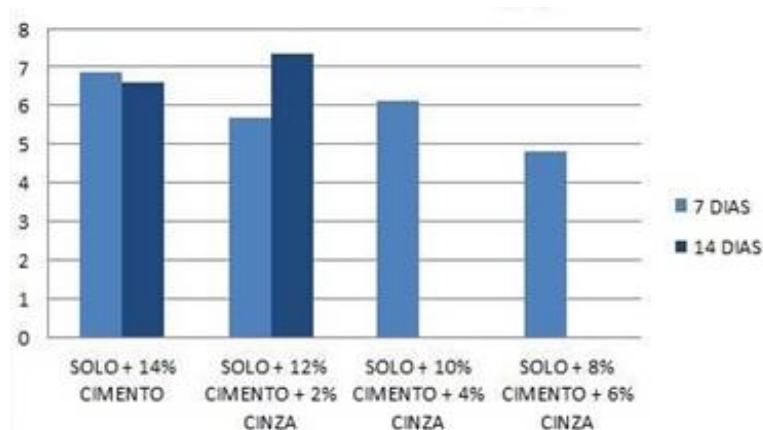
Tabela 2 – Resistência média à compressão simples (MPa)

Teor de Resíduo	30%	40%	50%
7 dias	0,9	0,9	1,0
28 dias	1,3	1,2	1,1
NBR 10834/94	≥ 2,0 MPa		

Fonte: Lima (2009).

A tabela 2 mostra na coluna do lado direito (vertical) os teores de resíduos e o tempo de cura. A barra horizontal acima, no lado esquerdo, mostra o resultado da resistência média à compressão quando se adiciona 30%, 40% e 50% de RCMG (em volume) como compósito no solo-cimento, com os seus devidos resultados registrados abaixo dos percentuais, em MPa. Cada uma dessas resistências médias referentes aos 7 dias e 28 aos dias de idade. Observem que nenhuma das resistências médias atingiu o que a norma determina, ou seja: 2,0 MPa.

Também Marques; Mendonça; Tenório (2012) fizeram estudos sobre adição de CBCA em tijolos solo-cimento e obtiveram um excelente resultado à resistência à compressão, conforme o que demonstra o gráfico 1.

Gráfico 1 – Resistência média à compressão simples (MPa)

Fonte: Marques; Mendonça; Tenório (2012).

O gráfico 1 mostra na vertical a resistência média atingida em MPa e na horizontal os percentuais de cimento e os percentuais de cinzas adicionados em cada traço, onde as cores azul claro corresponde à cura de 7 dias e o azul mais escuro corresponde à de 14 dias. Observa-se que, aos 7 dias, com a adição de 14% de CBCA, atingiu a marca de 6,8 MPa.

Outra pesquisa encontrada foi a de Santos Neto (2015), que analisou adição de RCMG em tijolos solo-cimento, e, seus ensaios após 7 dias tiveram resultados positivos, conforme tabela 3:

Tabela 3 – Resistência à compressão simples e menor valor individual

Traços	Cimento (%)	Solo (%)	RCMG (%)	T. Média (MPa)	Menor T. Média Individual (MPa)
1	9,10	90,9	0	2,50	1,84
2	9,10	86,36	4,54	2,57	2,26
3	9,10	81,81	9,10	2,67	1,71
4	9,10	77,27	13,63	2,85	1,85

Fonte: Autor, adaptado de Santos Neto (2015).

A tabela 3 mostra teor de cimento, de solo e de RCMG com o percentual em volume usado nos traços na barra cor de rosa horizontal; bem como a resistência à compressão média em tensão (MPa), na barra azul horizontal, suportada pela série testada na coluna azul vertical, em que, o seu melhor traço foi o de nº 4, este atingiu em média 2,85 MPa. A tabela também mostra a menor resistência individual na coluna do lado direito.

Igualmente temos a pesquisa de Da Silva e outros (2006, p. 5) sobre a produção de tijolos solo-cimento usando adição de resíduos de concreto. Eles obtiveram a resistência média normativa, principalmente após 7 dias de cura, com um traço muito econômico, a partir da mistura de 74% de solo, 6% de cimento e 20% de resíduos de concreto, conforme expressa a tabela 4.

Tabela 4 – Resistência média à compressão simples

Traço	Resistência Média (MPa)				
	07 dias	28 dias	56 dias	120dias	240dias
Solo + 6% de cimento	1,60	3,40	4,11	4,70	4,84
Solo + 8% de cimento	2,31	4,20	5,03	6,63	6,80
Solo + 10% de cimento	2,69	5,57	7,30	7,71	7,96
Solo + 6% de cimento + 20% de RC	2,50	3,74	4,15	5,02	5,49
Solo + 8% de cimento + 20% de RC	2,89	4,74	5,34	7,21	7,35
Solo + 10% de cimento + 20% de RC	3,21	5,93	7,43	8,26	8,62
Solo + 6% de cimento + 40% de RC	2,78	4,39	4,94	5,81	6,03
Solo + 8% de cimento + 40% de RC	3,03	5,18	6,23	8,14	8,22
Solo + 10% de cimento + 40% de RC	3,74	6,86	8,12	9,31	9,94
Solo + 6% de cimento + 60% de RC	2,78	4,64	4,94	5,73	6,07
Solo + 8% de cimento + 60% de RC	3,08	5,09	6,44	8,02	8,23
Solo + 10% de cimento + 60% de RC	3,86	6,96	7,97	9,80	9,94

Fonte: Da Silva e outros (2003)

A tabela 4, mostra as séries de traços definidos com seus devidos percentuais na coluna ao lado esquerdo, e, na barra superior horizontal, ao lado direito, mostra a idade de cada série e suas devidas resistências em MPa, abaixo, em cada coluna.

Já Betsuyaku (2015, p. 102) não obteve a resistência à compressão normativa, em sua pesquisa com adição de areia diatomácea em tijolos solo-cimento, conforme a tabela 5.

Tabela 5 – Resistência média à compressão simples com materiais medidos em volumes

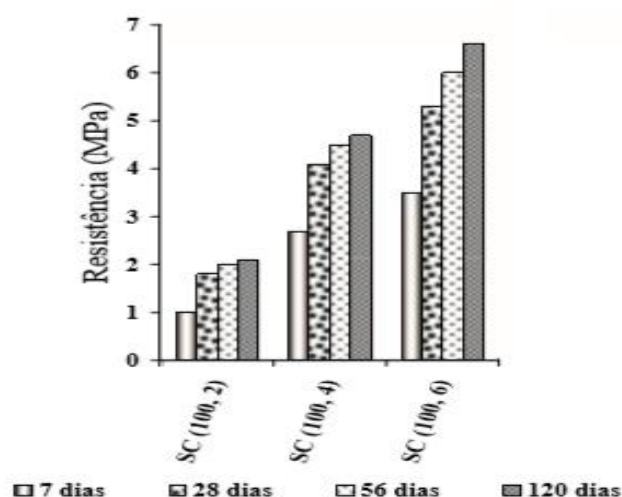
Traços	Cimento	Solo	Areia Diatomácea	Água	Tensão Média ao 7º dia (MPa)
D0	5	40	0	4	1,8
D1	5	38	2	4	1,8
D2	5	36	4	4	1,1
D3	5	38	2	4	0,9
D4	5	32	8	4	1,1
D5	5	30	10	4	1,0
D6	5,75	40	0,25	4,6	1,7
D8	5,5	40	4	5,1	1,7
D9	5,75	40	6	5,4	1,4

Fonte: Autor, adaptado de Betsuyaku (2015)

A tabela 5 mostra as séries de traços na coluna em azul, à direita; a barra horizontal cor de rosa, acima, indica os materiais usados e as devidas proporções em volume logo abaixo, onde se vê variações entre as suas séries, todavia, referente à barra azul na horizontal, registra-se na última coluna abaixo, as resistências médias à compressão simples de cada série de traços relacionados, os quais, não atingiram as determinações normativas, 2,0 MPa.

Segantini; Wada (2011, p. 182), também fizeram um estudo da dosagem de tijolos solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição e obtiveram bons resultados. Porém, aqui destaca-se apenas parte do gráfico constante em sua pesquisa, trata-se do gráfico 2, onde consignam os melhores resultados dos seus tijolos para alvenaria de vedação (mais econômicos).

Gráfico 2 – Resultado do teste de resistência média à compressão



Fonte: Parte da tabela tirada de Segantini; Wada (2011, p. 182)

O gráfico 2, mostra o teor de cimento com as proporções de 2%, 4% e 6%, misturado a 100% de pureza em relação a resíduos de construção, na horizontal; e com às resistências descritas na vertical, onde o traço mais econômico, foi a série que apresentou 100% de resíduos (resíduo puro) misturado à 4% de cimento Portland, o qual obteve com resistência média à compressão, aos 7 dias de idade, de 2,4 MPa.

Lima; Varum; Sales (2011, p. 6-8), também pesquisaram adições em tijolos solo-cimento, e em seus experimentos sobre a resistência mecânica e da absorção em blocos de

terra comprimida feitos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar, obteve os resultados apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Resistência média à compressão aos 28 dias

Proporções dos traços em massa				
Séries	Cimento	Solo	CBC	Resistência (MPa)
CP6- C0	0,06	1,00	0	0,70
CP6- C2	0,06	1,00	0,02	0,92
CP6- C4	0,06	1,00	0,04	1,44
CP6- C8	0,06	1,00	0,08	1,54
CP12- C0	0,12	1,00	0	3,13
CP12- C2	0,12	1,00	0,02	2,77
CP12- C4	0,12	1,00	0,04	2,62
CP12- C8	0,12	1,00	0,08	2,89

Fonte: Autor, adaptando a tabela de Lima; Varum; Sales (2011)

A tabela 6, mostra, na vertical (lado esquerdo) séries de corpos de prova contendo traços dos elementos, com proporções pesadas com diferentes massas, todos os CP6 (copos de prova 6) têm teores de concentração de cimento em massa de 0,06; assim como todo CP12 têm concentração de cimento em massa 0,12. As concentrações dos elementos do tijolo solo-cimento, em massa, estão relacionadas abaixo da barra superior rosada na horizontal da tabela. A última coluna, e mais importante, nos fornece a resistência média à compressão simples de cada série, em tensão, após 28 dias de cura.

Esses estudos acima, e alguns mais, fornecem parâmetros para se concluir que existem infinitas vantagens oferecidas pelo tijolo solo-cimento, ante a flexibilidade de combinações para pesquisas, isto com certeza trará muitos benefícios à sociedade e ao meio ambiente, dado que, já são conhecidas inúmeras adições estudadas e que obtiveram-se sucessos com resíduos sólidos em alguns tijolos solo-cimento, como adições com casca de arroz, com sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto-forno, finos de serrarias, cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, resíduos de corte de granito, resíduos de cascalho de poços de petróleo e outros.

2.9 Técnicas para pequena produção de tijolos solo-cimento

A prensa CINVA-Ran foi criada em 1956, na Colômbia, pelo engenheiro chileno Raúl Ramirez, que a desenvolveu com a finalidade de produzir tijolos de terra prensada, em

série, com a finalidade baratear o custo da construção civil, com o intuito de solucionar o problema de moradias populares naquele país. Assim, atualmente quase toda pesquisa que se realiza através de tijolos solo-cimento prioriza a população mais carente ao se tentar incorporar adições, principalmente de rejeitos, com finalidade de melhoramento e de uma produção mais em conta em pró da sociedade e do meio ambiente.

Pensando nisto é que o autor registra neste tópico algumas técnicas empíricas e, conseqüentemente, mais baratas para quem deseja produzir tijolos solo-cimento e não detenha conhecimento científico ou laboratório para conhecer e testar os insumos necessários para sua produção.

2.9.1 Características de um solo ideal para tijolos solo-cimento

O solo mais adequado para produção de tijolos solo-cimento deve está isento de materiais orgânicos, tais como: folhas, pedaços de galhos ou raízes. A presença destes materiais pode resultar em inibição ou retardamento da reação de hidratação do cimento. Todavia, a verificação visual é fácil de ser feita (PENTEADO; MARINHO, 2011, p. 18).

O ideal é que ele seja o mais arenoso possível, pois quanto mais argila tiver maior será o consumo de cimento, e isto encarecerá o tijolo. Entretanto, caso se almeje produzir o tijolo *in loco*, e se próximo ao canteiro de obra apenas exista solo argilo-arenoso, ou seja, em sua composição exista em sua maior proporção argila, é aconselhável se acrescentar areia à mistura, obtendo-se assim o solo mais propício para à produção com mais qualidade.

Conforme Santos Neto (2015, p. 20), como o solo é o material de maior quantidade a ser adicionado à mistura, este deve ser analisado com a finalidade de se usar o menor teor de cimento possível na fabricação dos tijolos, já que este é um material mais nobre. Assim, alguns critérios devem ser atendidos para verificar se o solo é considerado apropriado à produção dos tijolos de solo-cimento. De acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2013a), é aconselhável que o solo detenha um limite de liquidez menor ou igual a 45%; índice de plasticidade menor ou igual a 18%; e que quando peneirado passe 100% pelas malhas da peneira n°4 (ou seja, em uma peneira que tenha 4,75 mm de malha) e passe também 10% a 50% na malha da peneira n° 200 (malha com 0,075 mm).

2.9.2 Areia/argila - proporção ideal

Para a proporção de areia/argila o ideal é que se façam ensaios laboratoriais para determinação da sua granulometria e limites de consistência. Caso não se disponha de um laboratório, pode-se lançar mão de ensaios práticos a serem realizados *in loco* para uma caracterização desse solo. A Cartilha da ABCP (2000) destaca o uso de algumas técnicas para a seleção do solo com finalidade de fabricação de tijolos. Os testes práticos estão descritos um pouco mais adiante. Já as normas para caracterização em laboratórios necessárias são:

- a) NBR 6457 - Preparação de Amostra de Solo para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização;
- b) NBR 6508 - Determinação da Massa Específica dos Grãos de Solos;
- c) NBR 6459 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez;
- d) NBR 7180 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade;
- e) NBR 7181 - Solo - Análise Granulométrica.

Quanto aos testes empíricos citados anteriormente, a Cartilha ABCP (2000) descreve como realizar o ensaio da caixa. Este teste consiste em detectar qual a medida da retração do solo ao se desidratar, tendo ele os seguintes passos:

- a) toma-se aproximadamente 4,5 kg de solo destorroado e peneirado (recomenda-se a peneira de 4,8 mm de abertura de malha);
- b) adiciona-se água aos poucos, até que o solo adquira a consistência de argamassa de reboco;
- c) coloca-se o material numa caixa de madeira, com dimensões internas de 60,0 cm x 8,5 cm x 3,5 cm, conforme mostra a figura 16, todavia, previamente lubrificada, para não grudar a massa na forma de madeira, distribuindo-se o material uniformemente com a colher de pedreiro até preencher por inteiro o volume da caixa.

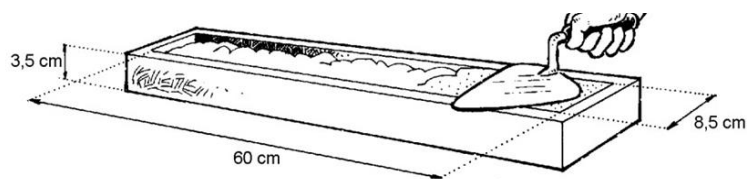


Figura 16 – Molde para acomodação do material.

Fonte: Cartilha ABCP (2000).

- d) em seguida rasar a superfície com uma com a colher;
- e) levantar e deixar cair uma das extremidades da caixa, de uma altura aproximada de 7 cm (quatro dedos), por dez vezes; repetir a mesma operação com a outra extremidade, com a finalidade de compactar a massa;
- f) proteger, a caixa contendo o material, do sol, da chuva e do vento, durante um período de 7 dias;
- g) após este período, fazer a medida da retração, conforme mostra a figura 17 e 18, no sentido do comprimento da caixa.

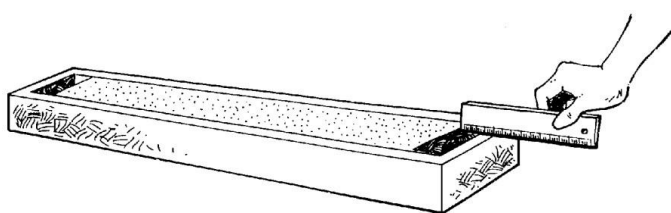


Figura 17 - Medida de retração do solo.

Fonte: Cartilha ABCP 2000.

- a) Se a retração total não ultrapassar 2 cm e não aparecerem trincas na amostra, o solo poderá ser utilizado; caso contrário, pode-se adicionar-lhe areia até obter-se uma mistura que enquadre nessa especificação

Para verificar se a umidade está adequada, a cartilha ABCP (2000) recomenda um procedimento prático, que consistem nos seguintes passos:

É realizado um procedimento para quebrar os torrões do solo. Em seguida o solo é peneirado sobre uma superfície limpa e lisa e espalhado em camadas que não ultrapassem 20 cm de espessura. Logo após, espalha-se o cimento sobre o solo. Com ajuda de enxadas, pás ou outra ferramenta apropriada, é feita a mistura do solo com o cimento, misturando-se o máximo possível para se obter uma mistura de coloração homogênea. Em seguida é adicionada água aos poucos até que se chegue à umidade desejada.



Figura 18 – Preparação da argamassa para o tijolo solo-cimento

Fonte: <<http://construcaociviltips.blogspot.com.br/2012/01/como-preparar-uma-boa-argamassa.html>>.

- a) Pega-se um pouco do solo-cimento já umedecido, aperta-se com a mão; quando, ao abrir a mão, as marcas dos dedos deverão ficar impressas, em baixo relevo, no bolinho formado, e a mão não deve ficar molhada. Veja o exemplo na ilustração da figura 19.

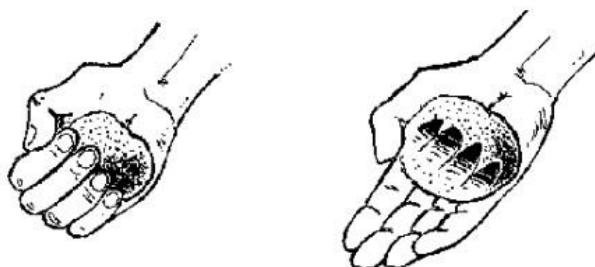


Figura 19 - Bolinho sendo amassado e em seguida com as marcas dos dedos.

Fonte: Cartinha ABCP 2000.

- b) Em seguida, eleva-se o bolinho a uma altura próxima a 1,0 m e o solta; quando este chegar ao chão deve-se despedaçar totalmente, como mostra a figura 20. Caso ele não se despedace totalmente é porque a umidade está muito alta.



Figura 20 - bolinho solto de uma altura próxima a 1m para se despedaçar.

Fonte: Cartinha ABCP 2000.

2.10 Cimento Portland

Cimento Portland é a nomenclatura metodológica empregada mundialmente para o componente conhecido popularmente como cimento. “Trata-se de um pó fino, com propriedades aglomerantes, que endurece sob a ação da água. Depois de endurecido, mesmo em contato novamente com a água, o cimento Portland não se decompõe” (ABCP, 2009).

Este aglomerante hidráulico finamente moído, obtido pela mistura homogênea de clínquer (calcário e argila cozidos ou calcinados em fornos a altas temperaturas e resfriados bruscamente), sulfato de cálcio (gesso) e adições normalizadas, com o acréscimo de água, formam uma pasta homogênea, capaz de endurecer o insumo e conservar essa capacidade mesmo quando submersa.

A figura 21, adiante, mostra a composição básica do clínquer até se chegar ao cimento Portland.



Figura 21 - Composição do cimento Portland.

Fonte: ABCP.

Segundo a ABCP, atualmente, existem oito tipos básicos de cimento Portland normalizados e disponíveis no mercado brasileiro.

- a) Cimento Portland Comum (CP I)
- b) Cimento Portland Composto (CP II)
- c) Cimento Portland de Alto-Forno (CP III)
- d) Cimento Portland Pozolânico (CP IV)
- e) Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
- f) Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS)
- g) Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC)
- h) Cimento Portland Branco (CPB)

Dentre estes, há onze variações normalizadas existentes no comércio:

- a) CP I – cimento Portland comum
- b) CP I-S – cimento Portland comum com adição
- c) CP II-E – cimento Portland composto com escória
- d) CP II-Z – cimento Portland composto com pozolana
- e) CP II-F – cimento Portland composto com fíler
- f) CP III – cimento Portland de alto-forno
- g) CP IV – cimento Portland pozolânico
- h) CP V-ARI – cimento Portland de alta resistência inicial
- i) RS – cimento Portland resistente a sulfatos

j) BC – cimento Portland de baixo calor de hidratação

k) CPB – cimento Portland branco

2.10.1 Mistura solo cimento

Quanto à quantidade de cimento Portland a ser misturada ao solo objeto na produção de tijolos solo-cimento, esta depende da requisição do projeto, ou seja, da resistência *solicitada*, podendo ser utilizados aditivos ou resíduos.

A qualidade do tijolo de solo-cimento é função do arranjo dos grãos e da compactação empregada pela prensa. O material resultante deve ter baixa porosidade e alta densidade; por isso é fundamental o bom desempenho do equipamento empregado. A figura 22 mostra o modelo mais rústico, porém bem eficiente, de uma prensa CINVA - Ran.

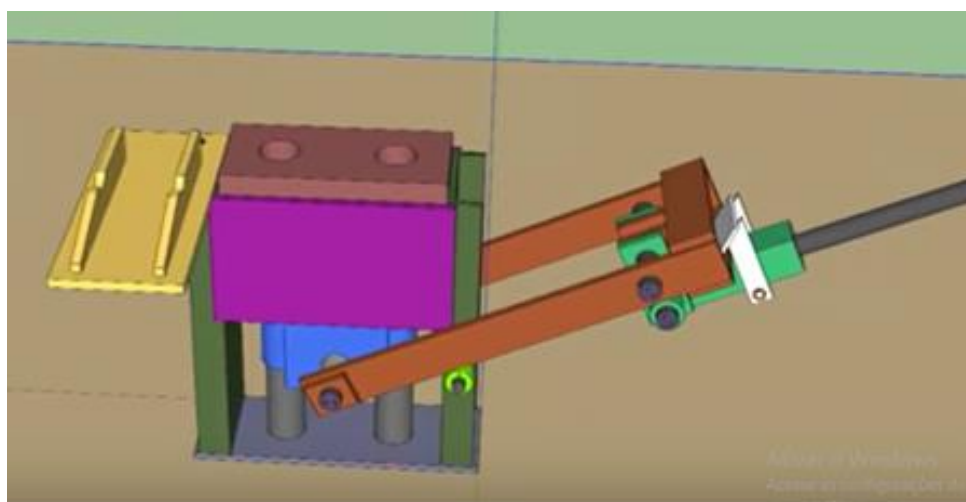


Figura 22 - Modelo de prensa manual de tijolos solo-cimento.

Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=R_3xGySdfNg, acesso em 01/08/2016.

2.10.2 Dosagem – tijolo de solo-cimento

Para se obter o produto final (tijolo de solo-cimento), faz-se necessária a mistura dos três materiais básicos: *solo*, *cimento* e *água*. Após a cura, pode-se chegar às características análogas às do tijolo convencional destinado à alvenaria de vedação. Uma delas seria a resistência à compressão simples, que pode ser superior à de um tijolo cerâmico, dependendo

da quantidade de cimento adicionada. Entretanto, a Cartilha ABCP (2000) recomenda moldar tijolos com dosagem em volume proporcional de cimento/solo em traço na ordem de 1:10, ou 1:12 ou 1:14.

Como foi dito anteriormente, a relação cimento/solo deve ser medida conforme a necessidade da resistência à compressão que o tijolo irá desempenhar. Este pode até possuir uma função estrutural. Logo, a escolha do traço deve ser adequada a essa necessidade, ou seja, usando o menor teor de cimento exigível, desde que atenda a medida da *solicitação* almejada, dado que o elemento cimento versa sobre a parte mais cara da mistura, não se podendo esquecer que a resistência à compressão e os critérios de absorção de água devem obedecer à NBR 8491 (ABNT, 2013b).

2.10.3 Processo preparação/fabricação

Segundo a Cartilha ABCP (2000), o processo de fabricação do tijolo de solo-cimento prensado corresponde às seguintes etapas:

- a) preparação do solo: consiste em destorroar e peneirar o solo seco;
- b) preparação da mistura: adiciona-se o cimento ao solo preparado e realiza-se uma mistura com os materiais secos. Após a homogeneização, adiciona-se água e mistura-se novamente o material até uniformizar a umidade no solo;
- c) moldagem dos tijolos: a mistura é colocada na prensa;
- d) cura e armazenamento: a cura começa só a após 06 (seis) horas de moldados e feita durante os 07 (sete) primeiros dias; os tijolos devem ser mantidos úmidos por meio de sucessivas molhagens.

As condições para aprovação do tijolo de solo-cimento estão destacadas na NBR 8491 (ABNT, 2013b), sendo que a média para resistência à compressão deverá ser maior ou igual a 2,0 MPa, não devendo ter valor individual inferior a 1,7 MPa, após os 07 (sete) dias de cura, e, para o critério de absorção média de água, não deve ser maior que 20% (vinte por cento).

2.11 Referencial Teórico

Este trabalho tem como referência duas pesquisas, uma sobre a aplicação de RCMG em tijolos solo-cimento, apresentada por Santos Neto (2015), em Trabalho de Conclusão de Curso pela Universidade Federal de Alagoas; e outra executada por Marques; Mendonça; Tenório (2012), sobre incorporação de CBCA em tijolos solo-cimento e sua viabilidade, apresentada no VII CONEPPI, em Palmas TO, contendo essas informações resumidas em artigo.

2.11.1 Estudo de caso da pesquisa de Santos Neto (2015)

Em referência ao traço desenvolvido por Santos Neto (2015), o mesmo levou em consideração que seria necessário variar as quantidades de resíduos em pequenas proporções para que fossem observadas as posteriores variações sofridas nos seus produtos finais. Os traços variaram conforme tabela 7.

Tabela 7 – Traços utilizados por Santos Neto em volume

Traço	Cimento	Solo	RCMG
1	1	10	0
2	1	9,5	0,5
3	1	9	1
4	1	8,5	1,5

Fonte: Autor, adaptado de Santos Neto (2015).

A tabela 7 nomeia os traços na parte vertical à direita e a barra horizontal superior mostra a quantidade em volume usada para cada material que compõe o traço, apresentando suas proporções logo abaixo.

O fator água cimento dos traços variou conforme a tabela 8.

Tabela 8 - Fator água cimento, usado em cada traço

Traço	a/c
1	0,65
2	0,63
3	0,67
4	0,62

Fonte: Santos Neto (2005).

A tabela 8 mostra que houve uma variação no fator água/cimento, entre os traços relacionados à esquerda da tabela (vertical).

Determinados os traços e produzidos os tijolos, os mesmos foram submetidos aos ensaios técnicos de resistência à compressão simples e absorção de água, onde os resultados dos testes de absorção de água aparecem na tabela 9:

Tabela 9 - Média dos valores de absorção de água e maior valor individual

Traço	Média (%)	Maior Absorção Individual (%)
1	13	13
2	13	16
3	14	17
4	15	15

Fonte: Santos Neto (2015)

A tabela 9 mostra os traços ao lado esquerdo (na vertical) e as devidas absorções de água correspondentes a cada um, sendo que em média e em maior valor individual de absorção, como mostra a barra superior horizontal com os devidos valores abaixo, em percentual.

Como pode ser visto na tabela 9, a média dos valores de absorção de cada traço não foi superior a 20%, e nenhum valor individual foi maior que 22%, tendo sido realizado após a cura de sete dias de moldagem. Com isso, o requisito de absorção de água da NBR 8491 (ABNT, 2013b) foi satisfeito.

Em relação à resistência à compressão simples, os resultados obtidos no ensaio estão demonstrados na tabela 10:

Tabela 10 – Resistência média à compressão simples e o menor valor individual.

Traços	Cimento (%)	Solo (%)	RCMG (%)	T. Média (MPa)	Menor T. Média Individual (MPa)
1	9,10	90,9	0	2,50	1,84
2	9,10	86,36	4,54	2,57	2,26
3	9,10	81,81	9,10	2,67	1,71
4	9,10	77,27	13,63	2,85	1,85

Fonte: Autor, adaptado de Santos Neto.

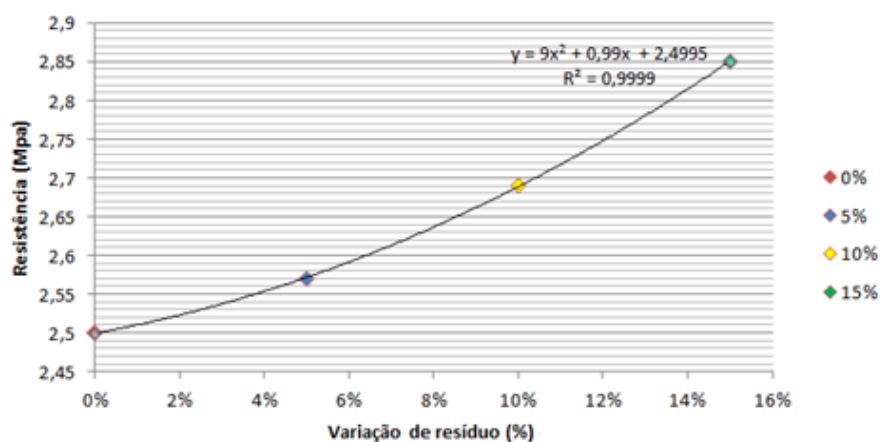
A tabela 10 mostra ao lado esquerdo (na vertical) a série de todos os traços usados, e na barra superior (horizontal) em rosa, os percentuais em volume do material que foi usado

nos tijolos; na barra superior horizontal, em azul, encontram-se as resistências médias suportadas e as menores resistências individuais em MPa, logo abaixo.

Na tabela 10 pode-se observar que nenhum valor médio da resistência à compressão foi inferior a 2,0 MPa, e que nenhum valor individual foi menor que 1,7 MPa. Logo, encontram-se aprovados os tijolos, conforme os critérios de resistência a compressão exigidos pela NBR 8491 (ABNT, 2013b).

No gráfico 3 podemos observar uma curva que mostra a variação da resistência à compressão simples em função da quantidade de resíduo na mistura, com isto, podemos constatar que existe um aumento da resistência a compressão simples (na vertical) à medida que se aumenta a quantidade de resíduo (na horizontal), com as cores representando os percentuais de resíduos acrescentados, em vermelho, azul claro, amarelo e verde. O aumento da resistência pode ser justificado pelo fato de o resíduo ter uma granulometria fina e contribuir para o aumento do grau de compactação.

Gráfico 3 - Curva de variação da resistência à compressão por porcentagem de resíduo.



Fonte: Santos Neto (2015).

2.11.2 Estudo de caso - pesquisa do Marques; Mendonça; Tenório (2012)

Quanto ao traço escolhido por Marques; Mendonça; Tenório (2012), os materiais constituintes do tijolo solo-cimento: cimento, solo, e adição de CBCA, foram pesados em uma balança com precisão de 5 g e, em seguida, misturados manualmente, adotando as recomendações de ABCP (1986) e ABCP (1989), e separado em traços que variaram em seu percentual em massa, conforme mostra a tabela 11:

Tabela 11- Nomeação dos traços

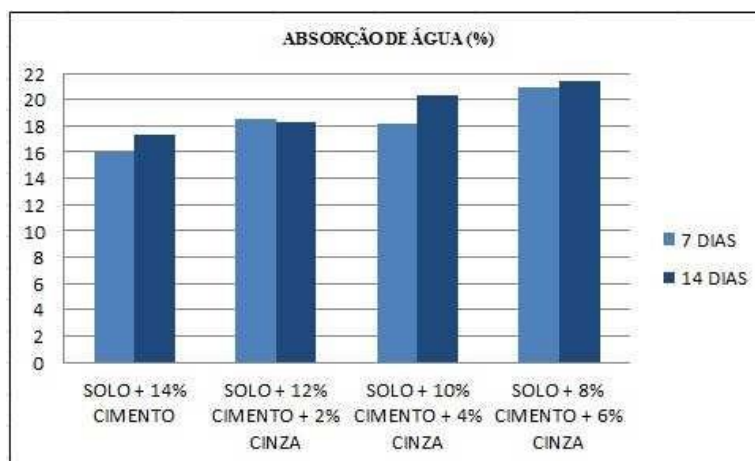
Traço	Cimento (%)	Solo (%)	CBCA (%)
1	14	86	0
2	12	86	2
3	10	86	4
4	8	86	6

Fonte: Marques (2012).

A tabela 11 mostra, ao lado esquerdo (vertical), as séries dos traços usados nos tijolos; a barra horizontal acima mostra os materiais usados em todos os traços e suas devidas proporções em percentual que foram usados sobre as suas massas.

Em seguida foram prensados e depois de retirados da prensa e levados para uma superfície plana que após 6 horas do início da moldagem, durante os sete primeiros dias, foram umedecidos com o auxílio de um borrifador a cada 2 horas.

Os testes de absorção de água demonstraram os seguintes resultados conforme o gráfico4, nas idades de 7 e 14 dias.

Gráfico 4 - Resultados dos ensaios de absorção de água

Fonte: Marques (2012).

O gráfico 4 mostra o percentual de absorção de água na vertical, e na horizontal a percentagens das massas usadas em cada traço; com a cura ao 7º dia (azul claro) e ao 14º dia (em azul escuro).

Foi detectado que ao aumentar a quantidade de CBCA, bem como o seu período de cura, os resultados de absorção de água cresceram consideravelmente, se assim comparados com os tijolos de solo-cimento puros.

Referente aos testes de Perda de Massa por Imersão, os resultados estão representados no gráfico 5.

Gráfico 5 - Ensaio de perda de massa por imersão nas idades de 7 e 14 dias

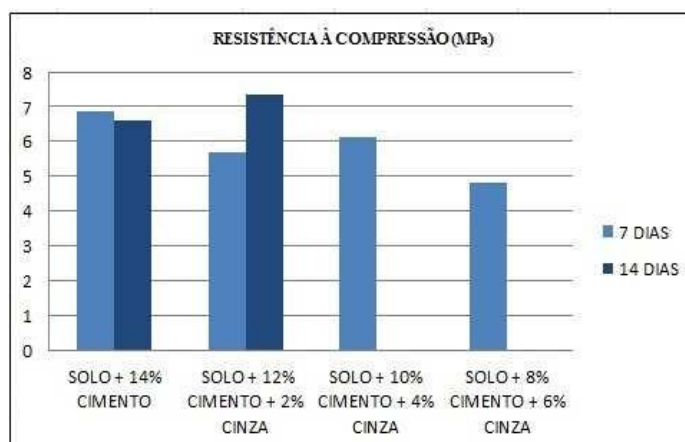


Fonte: Marques (2012).

O gráfico 5 mostra, na vertical, a perda de massa por imersão, em percentual, e na horizontal as proporções dos materiais em massa, com cura ao 7º dia (azul claro) e ao 14º dia (em azul escuro).

Quanto ao Teste de Resistência à Compressão, o gráfico 6 ilustra os resultados dos ensaios nos tijolos de solo-cimento, com e sem a introdução de resíduo, especificando os percentuais em massa na horizontal e as curas: 7º dia (azul claro) e 14º dia (em azul escuro).

Gráfico 6 - Resultados dos ensaios mecânicos dos tijolos



Fonte: Marques (2012).

Com isto, Marques; Mendonça; Tenório (2012) concluíram, que pelos resultados, ao diminuir-se as porcentagens de cimento e aumentarem-se as quantidades de cinza nas formulações, os corpos de prova obtiveram uma resistência acima de 2 MPa, atendendo as exigências da NBR 8491 (ABNT 2013b), e que isto ocorre devido à presença de sílica na composição da cinza, que após passar pelo processo de moagem, adquire propriedades pozolânicas semelhantes às desempenhadas pelo cimento Portland.

3. METODOLOGIA

As pesquisas de *Santos Neto (2015)* e de *Marques; Mendonça; Tenório (2012)* embasaram este estudo pelo fato desta proposta ser uma análise das combinações de resíduos (RCMG e CBCA), adicionados a tijolos solo-cimento, a serem ensaiados com a finalidade de se dá um destino mais limpo a esses rejeitos, empregando-os na construção civil, e, como os autores acima citados já haviam desenvolvidos pesquisas sobre eles, em separado, obtendo resultados positivos, surgiu então a ideia de uni-los e estudá-los em forma conjunta. Assim, foram escolhidos os traços que ofereceram os melhores resultados dos referenciais teóricos acima citados, com o objetivo de se criar a nova combinação e se fazer uma análise técnico/científica das suas características física e mecânicas.

3.1 Materiais

Este tópico aborda as características dos materiais usados na pesquisa, a maneira à qual foram adquiridos, a quantidade, a qualidade, de onde provieram e o modo que foram utilizados.

3.1.1 O solo

Tendo quem vista que esta pesquisa foi desenvolvida no mesmo laboratório o qual foi executada a de Santos Neto (2015) sobre incorporação de RCMC, e que tal pesquisa embasou esta nova proposta de estudo usando em conjunto adição de RCMC mais CBCA em tijolos solo-cimento, assim o autor optou por usar nesta análise o mesmo solo, sobra da pesquisa de Santos Neto (2015), com a finalidade de poupar tempo em relação a testes sobre este solo que já se encontram realizados por ele, e também com o objetivo de tentar se aproximar o máximo dos seus resultados em relação à resistência à compressão simples.

A figura 23 mostra o solo que sobrou do usado na pesquisa de Santos Neto (2015) e o qual foi utilizado também nesta pesquisa, todavia, este solo se encontrava onde foi

basculado, e estava guardado ao relento, nas imediações do Campus, às margens da rodovia AL 145.



Figura 23 - Solo utilizado.

Fonte: Autor

Assim, o critério de escolha deste solo, segundo Santos Neto (2015, p. 39), se deu pelo fato da proximidade em relação ao local de pesquisa, para que a despesa com transporte fosse a menor possível. Este solo já se encontrava estocado quando foi usado na pesquisa de Santos Neto (2015), pois foi fornecido como forma de patrocínio para um projeto de pesquisa na disciplina de Engenharia do Produto 1, no curso de Engenharia de Produção deste Campus, pelo gestor do município, e, foi retirado de uma fazenda que fica nas proximidades da cidade de Delmiro Gouveia/AL. É importante registrar que usou-se de cuidados para mitigar o máximo a agressão ao meio ambiente.

Consigna a pesquisa de Santos Neto (2015, p. 39) que a quantidade de solo fornecida foi próxima a 12 m³, conforme informações do transportador, e que foi colhido de uma jazida que já vinha sendo explorada a um bom tempo e que sua profundidade ultrapassava os dois metros, o que ajuda a garantir o mínimo de matéria orgânica possível. O solo foi basculado pela caçamba que o transportou, à beira da rodovia AL 145, e parte deste ainda se encontra estocado na entrada deste Campus em que foi realizada ambas as pesquisas.

3.1.2 O cimento Portland

O cimento empregado nesta pesquisa teve o propósito de ter as mesmas características do usado no trabalho de Santos Neto (2015), cimento Portland com adição de

filler, CP II-F-32, inclusive foi utilizada a mesma marca, comprado no comércio da cidade de Delmiro Gouveia/AL, mesma localidade.

O critério dessa escolha levou em consideração preservar os caracteres dos mesmos materiais da pesquisa de Santos Neto (2015) para tentar não se distanciar dos seus resultados nos ensaios, bem como poupar tempo, usando os ensaios de solo executado anteriormente por ele.

3.1.3 O Resíduo de corte do mármore e granito

O RCMG usado em nesta pesquisa foi coletado de uma marmoraria que fica localizada no Bairro Novo, município de Delmiro Gouveia/AL, oriundos do corte e do polimento das chapas de granito/mármore já beneficiadas, e utilizadas para confecção de pias, mesas, balcões, etc., ora fabricados de forma artesanal pelo proprietário e seus funcionários. A figura 24 mostra parte do pó usado estocado em baldes no laboratório.



Figura 24 - Resíduos do corte do mármore/granito.

Fonte: Autor.

3.1.4 A cinza de bagaço de cana-de-açúcar

A CBCA utilizada nesta pesquisa foi coletada do Engenho São Lourenço no município de Água Branca/AL, levada ao laboratório do Campus e peneirada com a peneira

com malha de 420 μm . A figura 25 mostra a cinza sendo peneirada e os cuidados do autor, usando EPIs, para não inalar o pó excedente.



Figura 25 – Peneiramento da CBCA.

Fonte: Autor.

3.1.5 A água

A água empregada nos testes foi uma água potável que proveio do sistema de abastecimento público da cidade de Delmiro Gouveia/AL, fornecida pela empresa CASAL – Cia. de Abastecimento de Água de Alagoas S/A – também provinda do mesmo sistema de abastecimento usado nas pesquisas de Santos Neto (2015).

3.1.6 A prensa CINVA-Ran

A prensa utilizada nesta pesquisa é mesma prensa usada também por Santos Neto (2015) na sua. Versa sobre uma prensa CINVA-Ran manual, em que a compressão não é constante em cada ação, porém variará de tijolo a tijolo de acordo com a energia humana empregada a cada produção, ou seja, cada confecção terá uma energia singular empregada, porém semelhante. A figura 26 mostra a prensa usada neste trabalho, trata-se de uma prensa

mais evoluída que as mostradas anteriormente, a mesma encontra-se no Laboratório de Materiais da UFAL – Campus do Sertão.



Figura 26 - Prensa no laboratório de materiais da UFAL – Sertão.

Fonte: Autor

Salienta-se que alguns materiais usados nesta pesquisa foram propositadamente os mesmos usados na pesquisa de Santos Neto (2015), ou pelo menos, com as mesmas características, como: solo, cimento, água e a prensa, com a finalidade de tentar não se distanciar dos seus resultados.

3.2 Métodos utilizados

Os métodos e ensaios adotados abalizaram-se nas recomendações da NBR 10833 (ABNT, 2013a), os quais descrevem todos os procedimentos necessários à produção de tijolos e blocos de solo-cimento em prensas manuais ou hidráulicas.

O solo destinado aos ensaios foi preparado de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 1986). Santos Neto (2015, p. 41), através de análise tátil visual identificou-o como um solo areno-argiloso; tal solo, empregado nesta pesquisa, foi exatamente o mesmo utilizado por ele,

assim, foram considerados nesta pesquisa os mesmos testes por ele executados em relação ao solo, com a finalidade de poupar tempo.

Conforme Santos Neto (2015, p. 41), o solo foi secado ao ar até próximo da umidade higroscópica, espalhado e, depois, executado o desmanche dos torrões e feita a homogeneização.

Como não se dispunha no laboratório de um repartidor de amostras, o processo de redução do material foi feito por meio do *quarteamento*, até que se fosse obtida uma amostra representativa de todo o material e em quantidade suficiente para os ensaios.

A figura 27 mostra o solo estocado e posterior *quarteamento* feito por Santos Neto (2015, p. 41).



Figura 27 – Solo e *quarteamento*

Fonte: Santos Netos (2015, p. 41).

Em seguida Santos Neto (2015, p. 41) usou a peneira com malha de abertura 4,75 mm, com a finalidade de peneirar a amostra quarteada para obter os resultados necessários, assim como também separar a quantidade de material que fosse suficiente para cumprir os ensaios, e, da mesma forma, se verificar o requisito da NBR 10833, (ABNT, 2013a), que determina que 100% do material deve passar pela malha desta peneira.

O material selecionado foi levado ao laboratório de materiais do IFAL - Instituto Federal de Alagoas, Campus de Palmeira dos Índios, para a realização dos testes.

3.2.1 Ensaio de granulometria do solo

Da mesma forma, consideramos nesta pesquisa os procedimentos e os resultados dos ensaios de granulometria executados por Santos Neto (2015, p. 42), por se tratar do mesmo solo usado nesta pesquisa.

Foram por ele seguidos os requisitos da NBR 7181(ABNT, 1988a), que prescrevem os métodos para análise granulométrica de solos, que pode ser realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento.

Para a realização do ensaio de granulometria, foi separada por Santos Neto (2015, p. 42) uma pequena amostra de 120 g do solo, como exibe a figura 28, a qual se encontra num recipiente de louça, esta passou pelas malhas da peneira com abertura de 2 mm, para, só então, posteriormente, ser colocada nas demais peneiras.



Figura 28 – Amostra de solo sendo pesada.

Fonte: Santos Neto (2015, p. 42).

Ao chegar ao laboratório do IFAL, Santos Neto (2015, p. 42-43) separou as peneiras com abertura de malhas: 1,2 mm; 0,6 mm (600 μm); 0,42 mm (420 μm); 0,21 mm (210 μm); 0,15 mm (150 μm) e 0,075 mm (75 μm) e as associou para ser levadas ao agitador mecânico, como mostra a figura 29. A amostra foi passada nas peneiras associadas durante o tempo de um minuto em agitação.

Como não couberam todas as peneiras ao mesmo tempo no agitador, este foi utilizado duas vezes para que a amostra passa-se por todas elas.



Figura 29 - Peneiras acopladas ao agitador.

Fonte: Santos Neto (2015, p. 43).

Após a amostra ter passado por todas as peneiras, Santos Neto (2015, p. 43) pesou o que restou em cada peneira, para se calcular as porcentagens retidas em cada uma delas.

3.2.2 *Ensaio de limite de liquidez*

De igual maneira consideramos o ensaio de limite de liquidez do solo executado por Santos Neto (2015, p. 43) por se tratar do mesmo solo utilizados nesta pesquisa. O ensaio de liquidez por ele elaborado foi determinado baseando-se na NBR 6459 (ABNT, 1984).

A amostra foi colocada numa cápsula de porcelana; nela foi sendo adicionada água aos poucos, e à medida que era feito este procedimento a amostra ia sendo amassada concomitantemente até transformar-se numa pasta homogênea. Como se tratava de solo mais arenoso que argiloso, o tempo de homogeneização registrado durou aproximadamente 15 minutos. Concluído este processo, parte da mistura foi transferida para a concha do aparelho de Casa Grande, a qual não estava acoplada ainda ao mesmo.

A amostra foi dividida em seu centro, em duas partes, com ajuda de um cinzel; foi verificada que a espessura na parte central era de aproximadamente de 10 mm. Não foram constatadas bolhas de ar na amostra. A concha foi recolocada no aparelho e procedeu-se o ensaio.

A figura 30 retrata a amostra contida na concha, já se encontra acoplada ao aparelho de Casa Grande, divida em duas partes pelo cinzel que se encontra deitado ao lado esquerdo sobre o aparelho.



Figura 30 - Amostra contida na concha do aparelho de Casa Grande

Fonte: Santos Neto (2015, p. 44).

Conforme cita Santos Neto (2015, p. 44), à medida que se girava a manivela numa razão de duas voltas por segundo a concha ia sendo golpeada contra a base; enquanto isso era observada a ranhura e os números de golpes, para que fossem registrados quantos deles seriam necessários para unir a ranhura, que tinha aproximadamente 13 mm de comprimento.

Registrado o número de golpes, o material restante na concha foi recolhido e transferido novamente para a cápsula de porcelana.

Posteriormente, a amostra foi umidificada novamente e homogeneizada por 3 minutos, para repetir todo o procedimento até que se chegar a cinco pontos de ensaios.

Após cada ensaio eram transferidas pequenas partes das amostras do material que se uniu para recipientes hermeticamente fechados com finalidade das mesmas não perderem a umidade. Entretanto, estes recipientes foram anteriormente pesados (tarados), para não se misturarem às massas úmidas de cada amostra aferida.

As amostras foram levadas à estufa e submetidas a uma temperatura de 100 a 110 °C por um período de 24 horas, para a determinação de suas umidades.

3.2.3 Ensaio de limite de plasticidade

De igual modo, consideramos neste trabalho o ensaio de plasticidade realizado anteriormente por Santos Neto (2015, p. 45), por se tratar do mesmo solo o qual foi usado nesta pesquisa. Assim, como ele relata, o ensaio executado obedeceu a NBR 7180 (ABNT, 1988b), a qual define o método para determinação do limite de plasticidade e os cálculos para se chegar no índice de plasticidade dos solos.

O ensaio obedeceu ao item 4.2 da norma, onde foi utilizada uma amostra com secagem prévia. Semelhante ao ensaio anterior, a amostra foi colocada numa cápsula de porcelana e umedecida com água enquanto era amassada e revolvida com uma espátula, até chegar ao estágio de pasta homogênea e com uma consistência plástica. O tempo total de homogeneização durou pouco mais de 15 minutos pelo fato de se tratar de um solo arenoso.

A figura 31 revela uma amostra de solo em forma de massa umidificada, amassada em forma de bola com a mão, começando a ser rolada sobre uma placa de vidro, para se transformar geometricamente em um cilindro fino.



Figura 31 – Massa úmida de solo sendo moldada em forma de cilindro.

Fonte: Santos Neto (2015, p. 46).

Em seguida, foram colhidas aproximadamente 10 gramas da amostra, inicialmente em forma de bola para ser transformada numa nova forma geometricamente cilíndrica ao ser rolada manualmente sobre uma placa de vidro, com aplicação de certa pressão, dispendendo-se bastante cuidado com essa a pressão aplicada, visto que, segundo a norma, se a amostra se fragmentar antes de se transformar em um bastão cilíndrico com um diâmetro de 3 mm, a mesma deve voltar para a cápsula e o processo de homogeneização deverá ser refeito.

À medida que a espessura do cilindro foi diminuindo e atingiu o valor aproximado de 3 mm, com um comprimento próximo de 100 mm, a amostra foi separada em partes e colocada num recipiente adequado, para só então, ser determinada a umidade.

3.3 Determinação dos traços

Como foi relatado acima, as pesquisas de *Santos Neto (2015)* e de *Marques; Mendonça; Tenório (2012)* embasou este trabalho, e foi escolhido o traço que mais se

aproximou da resistência mínima exigida por norma para tijolos solo-cimento a serem aplicados em alvenaria de vedação, pelo fato deste traço ser o mais econômico entre todos. Assim, um dos traços de Santos Neto (2015) foi o escolhido para ser nele adicionado resíduo de CBCA.

Portanto, analisados os melhores resultados observamos que Santos Neto (2015) teve como traço ideal as seguintes proporções em volume: (1:8,5:1,5), que transformando em percentuais significa: (9,1%:77,27%:13,63%), correspondendo a cimento Portland, solo, e RCMG, respectivamente, e que submetidos seus tijolos aos testes de compressão simples atingiram uma resistência média de 2,85 MPa.

O Estudo de Marques; Mendonça; Tenório (2012) obteve como melhor traço (10%: 86%: 4%), sendo: cimento Portland, solo e CBCA, (respectivamente), e, seus tijolos obtiveram com ele uma resistência média à compressão de 6,01 MPa.

A tabela 12, relaciona ao lado esquerdo, coluna com destaque em rosa, as pesquisas e os pesquisadores; a barra horizontal acima com detalhes em azul claro, indica abaixo as proporções em volume dos materiais usados nos melhores traços de cada pesquisador; e a coluna do lado direito com destaque em rosa na barra superior, mostra as devidas resistências médias alcançadas em cada pesquisa.

Tabela 12 – Melhores Traços por Pesquisa

Pesquisa	Cimento (%)	solo (%)	RCMG /CBCA (%)	Resistência (MPa)
Santos Neto	9,1	77,27	13,63	2,85
Marques	10	86	4	6,01

Fonte: Autor.

Observa-se que o traço de Santos Neto (2015) contém apenas 9,1% de cimento Portland e resistiu a uma média de 2,85 MPa; enquanto o de Marques; Mendonça; Tenório (2012) contém 10% de cimento e suportou em média 6,01 MPa.

Todavia, como o objetivo desta pesquisa não é o estudo de tijolos estruturais, o autor acreditou que se adicionasse a CBCA ao melhor traço de Santos Neto (2015), o qual contém adição apenas de RCMG, ainda que a CBCA viesse desempenhar papel de material inerte, e se a resistência à compressão ficasse acima ou igual a 2,0 MPa, o objetivo deste trabalho seria alcançado, pois a quantidade de cimento iria cair em seu percentual e conseqüentemente isto iria baratear o custo do objeto em estudo.

Deste modo, foi escolhido como o melhor traço o de Santos Neto (2015), o qual foi nomeado para ser estudado como “traço 1”, que versa sobre a proporção (1: 8,5: 1,5) em volume, relacionada a cimento, solo, RCMG, respectivamente.

Ao se acionar ao “traço 1” à proporção de 0,5 (em volume) de CBCA, o mesmo recebeu o nome de “traço 2”, agora com a proporção igual a (1: 8,5: 1,5: 0,5), correspondente a cimento, solo, RCMG e CBCA, respectivamente.

De igual maneira ao se adicionar a proporção de 1, em volume, de CBCA ao “traço 1”, este foi nominado de “traço 3”, na proporção de (1:8,5:1,5:1), correspondente a cimento, solo, RCMG e CBCA, respectivamente.

E por fim, ao se acrescentar 1,5 (em volume) de CBCA ao “traço 1”, este foi nominado de “traço 4”, na proporção de (1:8,5 : 1,5: 1,5), correspondente a cimento, solo, RCMG e CBCA, respectivamente.

A tabela 13 nomeia os traços. A barra azul acima (horizontal) mostra os materiais e a baixo suas proporções, contudo, as barras em destaque cor de rosa mostram estas proporções em volume e em percentuais, logo abaixo. As barras verticais em azul mais claro, mostram cada traço que foi feito com os percentuais dos elementos ao lado direito.

Tabela 13 - Nomeação do Traço

Traço	Cimento	Solo	RCMG	CBCA
Em volume				
1	1	8,5	1,5	0
2	1	8,5	1,5	0,5
3	1	8,5	1,5	1
4	1	8,5	1,5	1,5
Em percentual (%)				
1	9,10	77,27	13,64	0,00
2	8,70	73,21	13,04	4,35
3	8,34	70,83	12,50	8,33
4	8,00	68,00	12,00	12,00

Fonte: Autor

3.4 Produção dos Tijolos de Solo-cimento

Este item detalha alguns procedimentos tomados para assegurar a produção dos tijolos de forma normativa. Assim, definidos os traços em percentuais, foram determinadas as *relações água-cimento*, para se adotar um teor de umidade ótima a ser dosado em cada traço.

3.3.1 Relação água/cimento

Foram feitos vários testes empíricos dos bolinhos - cartilha da ABCP (2000) - com a finalidade de se adotar uma umidade ótima para cada traço, chegou-se à conclusão que para cada proporção de dois litros de material deveria corresponder a 300 ml de água.

A figura 32, adiante, mostra a execução dos experimentos com amostras de solo-cimento adicionadas aos resíduos, em suas devidas proporções, sendo umedecidas e testadas empiricamente. Foram usados EPIs, como avental e luvas, por uma questão de higiene, para se evitar uma contaminação do autor pelo solo e materiais.



Figura 32 - Experiência para adotar uma umidade ótima em cada traço

Fonte: Autor

Os testes de teor de umidade acima consistem em pegar com a mão uma porção do traço umedecido, em forma de bolinho, apertá-lo de maneira que se obtenham as marcas dos dedos presentes nele. Ao se abrir a mão com o bolinho no centro, esta **não** deverá encontrar-se molhada. Em seguida, o bolinho deve ser solto de uma altura próxima a 1 m, onde o mesmo deve se desmanchar quando atingir o piso.

Executado o teste empírico, chegou-se a conclusão que se deveria adotar os fatores água/cimento, os quais se encontram registrados na tabela 14.

Tabela 14 – Fator água cimento

Traço	Fator a/c
1	0,83
2	0,79
3	0,76
4	0,73

Fonte: Autor

A tabela 14 mostra, na coluna (azul), ao lado esquerdo, a relação dos traços definidos anteriormente. Na barra horizontal rosa, ao lado direito, encontram-se abaixo os fatores *água/cimento*, adotados como *umidade ótima*.

Antes de se executar os traços definitivos, foram feitos alguns traços/teste e foram produzidos alguns tijolos na prensa SINVA-Ran manual, para se averiguar como se sairiam os demais depois de prensados definitivamente. Tais tijolos/teste produzidos foram aprovados, pois tinham consistência suficiente para ser pego à mão e colocado sobre à mesa sem ser danificado. Com isso, poder-se-ia dar início à fase de confecção em massa dos traços definitivos. A figura 33 mostra a execução dos tijolos/testes, com o autor usando EPIs como luva e avental, impermeáveis, com a finalidade de não se contaminar.

**Figura 33** – Teste dos tijolos provisórios na máquina

Fonte: Autor

Adotados os fatores *água/cimento* para cada traço, iniciou-se a mistura dos traços para a confecção dos tijolos, primeiramente misturando solo à CBCA e ao RCMG, e depois o cimento, sendo os mesmos homogeneizados à seco. Posteriormente acrescentada a água na quantidade anteriormente definida, aos poucos, até se chegar teor de umidade ideal da adotado para a massa. A figura 34 adiante mostra o autor provido de máscara contra inalação de pó dos produtos secos, como cimento, solo, cinza e pó de mármore/granito, também com o uso de luvas e botas, para evitar acidentes, dentro do laboratório.



Figura 34 – Preparação dos traços

Fonte: Autor.

Faz-se imperioso consignar que como o piso do laboratório absorve água, para não haver alterações posteriores, o chão foi borrifado com água para umedecê-lo antes de se misturar a composição naquele local. Com a mistura já pronta, foi levada a mesma, em partes, ao compartimento de armazenamento da prensa manual.

A figura 35 mostra o compartimento da máquina onde foi colocada a mistura umidificada para a produção dos tijolos solo-cimento.



Figura 35 - Compartimento que comporta o traço.

Fonte: Autor

Assim, foi dado o início à moldagem dos tijolos. Após cada moldagem unitária, foram sendo colocados um ao lado do outro, sobre uma mesa de granito, sendo mantidos em uma câmara úmida improvisada com lona impermeável para envolvê-los depois das 6 primeiras horas de moldagem, com a finalidade da cura durante 7 dias.

A figura 36 mostra a cura executada durante um período de 7 dias, em que, durante esse tempo, os tijolos foram umidificados e envolvidos em lona impermeável para permanecerem úmidos, bem como monitorados diuturnamente.



Figura 36 – Tijolos acomodados à mesa; câmara úmida improvisada para cura

Fonte: Autor.

Foram produzidos 96 tijolos, sendo 24 unidades correspondentes a cada traço. De cada traço foram separados 10 deles de forma aleatória, como a finalidade de serem submetidos aos testes. Sendo que, destes 10, foram retirados 3 para serem utilizados nos ensaios de absorção de água e os 7 restantes a serem submetidos aos ensaios de compressão simples, ou seja, 3 de cada traço e 7 de cada traço, de acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2013b).

3.5 Ensaio de Absorção de água

Os ensaios de absorção de água foram realizados conforme o prescrito na NBR 8492 (ABNT, 2013c) em 3 tijolos de cada traço. Como se trataram de 4 traços diferentes, foram submetidos 12 tijolos aos testes, que foram numerados previamente para se diferenciarem.

Foram aferidas suas massas úmidas em gramas após os 7 dias de cura, numa balança de 5000 g, com precisão de 1 g. Posteriormente, foram colocados numa estufa elétrica com temperatura regulada entre 105 e 110 °C, com a finalidade de desidratar os corpos de prova (tijolos) gradativamente, até se tornarem totalmente secos.

Durante todo processo de desidratação foram pesados diariamente até atingir a constância de massa, ou seja, não mais variar, o que dá a certeza de não existe mais água no corpo de prova.

Como não couberam os 12 corpos de prova dentro da estufa, foram feitos os testes primeiramente com 9 corpos (tijolos), posteriormente com os três restantes.

A figura 37 mostra os primeiros 9 corpos de prova postos na estufa; assim como também os três submetido posteriormente à desidratação; mostra, outrossim, um corpo sendo aferido na balança de precisão, no laboratório.



Figura 37 – Tijolos colocados na estufa; aferição da massa seca

Fonte: Autor.

Registradas as suas massas secas (M_1), conforme figura 37, anterior, foram resfriados e posteriormente imersos por 24 horas em recipiente com água. Ao serem retirados da imersão foram enxugados e pesados para aferição das suas massas saturadas (M_2), conforme a figura 38.



Figura 38 – Processo de aferição da massa saturada

Fonte: Autor

A figura 38 mostra um corpo de prova submerso; posteriormente, depois de 24 horas, foi retirado e enxugado; depois aferida a sua massa saturada em balança de precisão no laboratório.

Para obtenção dos resultados da absorção de água (A) em porcentagem, foi calculada da absorção dos 3 tijolos referentes à cada traço, de maneira independente, pela Equação 2; em seguida foi determinada a média aritmética desses resultados.

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

A = absorção de água (em porcentagem)

M_1 = massa seca, em gramas

M_2 = Massa saturada, em gramas

3.6 Ensaio de resistência à compressão simples

Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados conforme o prescrito na NBR 8492 (ABNT, 2013c). Tal norma é a que define os métodos para análise dimensional, determinação da resistência à compressão e o de absorção de água em tijolos solo-cimento para alvenaria sem função estrutural.

Após o sétimo dia de cura, 7 tijolos foram separados de cada traço para compor as amostras dos ensaios de resistência à compressão simples. Os mesmos passaram por um processo de preparação, que é indicado pela NBR 8482, (ABNT, 2013c), onde foram cortados ao meio, perpendicularmente à maior dimensão; em seguida as duas faces maiores dos tijolos cortados foram superpostas uma sobre outra e coladas por uma pasta composta apenas por cimento e água, numa relação água/cimento de 0,45; dando origem a um corpo de prova prismático; a pasta de cimento e água garante que sua resistência seja maior que a do tijolo, logo, ela não será o elo fraco durante o ensaio.

A figura 39, mostra o procedimento de preparação para os testes de resistência à compressão. Mostra o autor usando EPIs: luva, máscara, botas e avental; medindo o centro das amostras (tijolos); serrando-as com uma *maquina*; preparando a pasta de cimento; colando as metades das amostras; também os corpos de prova já colados, em forma de prismas, que serão posteriormente levados para a prensa.



Figura 39 – Preparação dos tijolos para o teste de compressão

Fonte: Autor.

Após endurecimento da pasta de cimento colocada para unir as duas metades dos tijolos, que se deu em 24 horas, uma nova pasta com o mesmo traço foi utilizada para uniformizar as duas faces. Primeiro a inferior, e 24 horas depois, a superior. Tais faces irão ficar em contato direto com a prensa hidráulica nos ensaios. Este procedimento tem a finalidade de nivelá-las para oferecerem uma melhor distribuição do carregamento naquelas superfícies durante os testes de compressão simples.

Antes de serem submetidos a estes ensaios, cada prisma formado por um só tijolo foi medido para se determinar qual a área média das faces, a qual sofrerá a força desempenhada

diretamente pela prensa hidráulica, sendo colhidos “comprimento x largura” das duas metades, a superior e a inferior do prisma, com o objetivo de se obter a média delas para o cálculo da tensão de ruptura, visto que os resultados obtidos na prensa são expressados em kgf (quilograma força), e a norma determina uma análise em tensão, com relação à área de trabalho, já que, para se calcular a tensão (τ) aplicada ao corpo de prova, esta é dada pela razão da força (F) aplicada pela área média de trabalho (A), sabendo-se que, por norma, **não** é permitido que seja deduzida a área vazia que fica no núcleo do prisma, da área média. Assim, usou-se a Equação 3, adiante.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Onde:

τ = tensão

F = força

A = área

Em seguida, as amostras foram acondicionadas para ser transportadas para o Laboratório de Materiais do campus do IFAL – Instituto Federal de Alagoas – Palmeira dos Índios. Tal operação foi executada com o máximo de cuidado para evitar o atrito ou colisão entre elas durante a viagem, com a finalidade de não quebrarem.



Figura 40 – Tijolos preparados e embalados para viagem.

Fonte: Autor.

A figura 40 mostra os corpos de prova com a pasta de cimento ainda em estado de endurecimento; depois, as amostras foram acondicionadas em caixas, e, contendo papelões entre elas, para não se quebrarem durante o movimento provocado em seu percurso na viagem.

Ao chegarem ao laboratório do IFAL, os corpos prismáticos foram levados uma mesa para serem embrulhados (plastificados) com filmes, com a finalidade de não sujam o laboratório ao serem rompidos pela prensa.

Ao serem prensados e rompidos foram registradas as forças máximas impostas pela prensa, e com isto, efetivados os ensaios de resistência à compressão simples.

A figura 41 mostra um corpo de prova envolvido em plástico (filme), posto na prensa hidráulica para ser submetido à compressão.



Figura 41 – Corpo de prova posto na prensa hidráulica para ser rompido

Fonte: Autor.

Os dados de cada corpo de prova, relativos à sua força de ruptura, foram anotados e depois utilizados para o cálculo da resistência individual à compressão.

4. RESULTADOS

As informações consignadas abaixo mostrarão os resultados referentes aos testes efetuados com o solo, bem como os referentes aos desempenhos físico/mecânicos dos tijolos correspondentes a cada série de traços, como testes de compressão simples e de limite de absorção de água.

4.1 Resultados correspondentes aos testes efetuados com o solo

Como critério de verificação do solo, foi peneirado o material com peneira com malhas de abertura 4,75 mm (figura 42) e foi constatado que 100% do material passou pelas malhas da mesma.

Aprovando então o solo em seu primeiro critério. (SANTOS NETO, 2015, p. 54).



Figura 42 - Peneira de 4,75mm.

Fonte: Santos Neto (2015).

4.1.1 *Análise granulométrica*

As amostras retidas em cada peneira foram pesadas e com os resultados obtidos foi montada a tabela 15, segundo Santos Neto (2015, p. 55).

Tabela 15 - Resultados do Peneiramento.

Peneiras (mm)	Massa (g)	Massa (%)
1,200	12,506	10,590
0,600	34,118	28,900
0,420	10,965	9,290
0,210	15,585	13,200
0,150	9,213	7,800
0,075	18,768	15,900
Fundo	16,897	14,310
Total	118,052	100,000

Fonte: Autor adaptou Santos Neto (2015).

A tabela 15 mostra na coluna azul clara, vertical, a relação das malhas das peneiras que foram usadas no teste, com suas aberturas em milímetro, uma abaixo da outra, respectivamente, referentes a cada peneira posta no agitador. Na barra acima, azul mais escuro, horizontal, mostra a quantidade em gramas e em percentual dos grãos de solo que foram retidos pelas malhas de cada peneira, com os valores relacionados ao lado, abaixo da barra.

Como critério de aceitação do solo, a NBR 10833 (ABNT, 2013a), determina que de 10% a 50% do material deva passar pelas malhas da peneira com abertura de 0,075 mm, e, como se pôde observar na tabela 15, o percentual de 14,31% do material passou pelo peneiramento.

Com isso, conclui-se que o solo satisfaz o critério descrito (SANTOS NETO, p. 55).

4.1.2 Limite de plasticidade

Na determinação do limite de plasticidade, o ensaio executado por Santos Neto (2015) não ofereceu um resultado satisfatório, visto que o solo utilizado era bastante arenoso, o que dificultou o procedimento. Assim, é possível afirmar que o limite de plasticidade é bem pequeno, em função da dificuldade de se moldar os cilindros.

Na figura 43 pode-se observar que, mesmo tomando-se os devidos cuidados com a pressão exercida pelas mãos sobre a amostra, não se conseguiu alcançar uma forma cilíndrica com espessura de 3 mm e com comprimento de 100 mm, conforme especifica a norma.



Figura 43 - Amostra de solo em forma de cilindro fragmentada antes de atingir os 3 mm de espessura

Fonte: Santos Neto (2015).

4.1.3 Limite de liquidez

Com os resultados obtidos anteriormente foi montada a tabela 16, nela encontra-se em azul mais escuro uma coluna vertical que indica: a que cápsula se refere os resultados; a massa do solo mais a tara da balança mais a massa de água, todas pesadas em gramas; a massa do solo mais a tara da balança em gramas; tara da balança em gramas; massa da água em gramas; massa de sólidos em gramas; umidade em percentual; e os números de golpes deferidos nos ensaios. A barra azul clara acima numera os ensaios. (SANTOS NETO, p. 55).

Tabela 16 - Dados obtidos com o ensaio de limite de liquidez

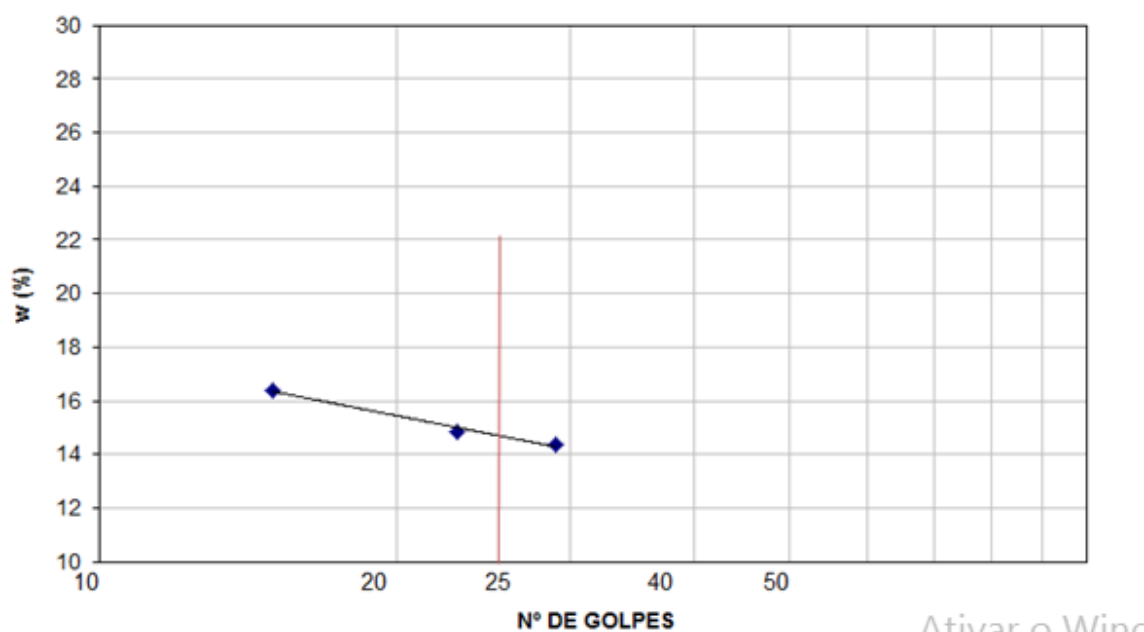
Determ. N°	1	2	3	4	5
Cápsula n°	1	2	3	4	5
S + T + A (g)	40,13	34,78	38,963	38,301	33,473
S + T (g)	38,07	32,67	37,44	36,58	32,5
T (g)	25,5	23,2	27,2	24,6	24,8
A (g)	2,06	2,11	1,52	1,72	0,97
S (g)	12,57	9,47	10,24	11,98	7,7
W (%)	16,4	22,2	14,9	14,4	12,6
Números de Golpes	15	26	23	29	23

Fonte: Autor, adaptando tabela de Santos Neto (2015).

A partir da umidade e do número de golpes foi possível plotar o gráfico 8 e estimar o limite de liquidez que, segundo a NBR 6459 (ABNT, 1984), é o valor encontrado para 25 golpes.

O gráfico 8 mostra o percentual de umidade na vertical e o número de golpes na horizontal. Cruzando os dados chega-se a conclusão, pela umidade, que o ponto do limite de liquidez corresponde ao valor na vertical de 14,4%.

Gráfico 7 - Pontos obtidos para determinação do limite de liquidez



Fonte: Santos Neto (2015).

Para o solo em estudo o valor aproximado de 14,4% é satisfatório, visto que a NBR 10833 (ABNT, 2013a), determina que o limite seja inferior a 45%. (SANOTOS NETO, p. 56).

4.1.4 Resultados dos testes de limite de absorção de água

Os resultados dos testes sobre o limite de absorção de água foram colocados na tabela 17. Esta expõe na coluna do lado esquerdo, em azul, a relação dos traços; a barra horizontal em destaque rosa, mostra os valores da média de absorção de água e em seguida o maior valor individual, nas séries de cada traço, com os valores consignados abaixo (em percentuais).

Tabela 17 - Limite de absorção média de água e maior valor individual

Traço	Média (%)	Maior Individual (%)
1	9,77	9,56
2	13,35	11,53
3	12,59	11,50
4	11,41	11,62

Fonte: Autor

Como pode se observar na tabela 17, a média dos valores de cada traço foi inferior a 20%, bem como nenhum valor individual foi superior a 22%, tendo sido os ensaios realizados após 7 dias de cura.

Com isso, os requisitos de absorção de água, consubstanciados na NBR 8491 (ABNT, 2013b), foram satisfeitos.

4.1.5 Resultados referentes à resistência à compressão simples

Com os resultados do teste de resistência à compressão simples foi formulada a tabela 18. Esta mostra, na coluna azul vertical, a relação dos traços; nas barras com destaque em rosa estão as tensões médias e as menores tensões individuais suportadas pelos corpos de prova. Na barra azul na horizontal, mostram-se os percentuais de cada resíduo adicionado a cada traço.

Tabela 18 – Médias das resistências à compressão simples e menores tensões individuais

Traço	Tensão Média (MPa)	RCMG (%)	CBCA (%)	Menor Tensão Individual (MPa)
1	1,41	13,64	0,00	1,20
2	1,48	13,04	4,35	1,10
3	1,40	12,50	8,33	1,11
4	1,25	12,00	12,00	1,11

Fonte: Autor

Como se pode perceber, todos os valores referentes à tensão de ruptura média foram inferiores a 2,0 MPa, assim como todos os valores individuais também foram inferiores a 1,7 MPa.

Com isto, conclui-se que todos os valores foram reprovados nos testes de resistência à compressão simples, conforme a NBR 8491 (ABNT, 2013b).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este tratado buscou encontrar uma destinação útil para os resíduos oriundos de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e de corte de mármore e granito, com a finalidade de reuso em forma de adição em tijolos solo-cimento a serem utilizados na construção civil, com escopo de proporcionar um fim mais limpo, evitando com isso seus descartes na natureza sem tratamento, entretanto, para por em prática este aproveitamento propor-se analisar as características físico/mecânicas dos mesmos através desta pesquisa científica, da mesma forma buscou uma maneira mais econômica em relação à sua produção ao implementar neles os resíduos. Também, procurou estudar um teor otimizado de RCMG e CBCA a serem aplicados nos tijolos. Todavia, como em toda pesquisa existem resultados que podem implicar em respostas positivas ou negativas, neste caso específico, ainda que tendo como referencial teórico um trabalho já elaborado por Santos Neto (2015), e que seus resultados tenham sido positivos, e mesmo que este trabalho tenha sido desenvolvido no mesmo centro de pesquisa o qual foi desenvolvido o de Santos Neto (2015), ainda que utilizando quase os mesmos materiais, como: o mesmo tipo e marca de cimento Portland; a mesma prensa CINVA-Ran manual; o mesmo solo sua pesquisa, o qual ainda se encontrava estocado parte dele nos arredores do Campus; usando os mesmos modos de operação, e, mesmo quando o autor repeliu o melhor traço do Santos Neto (2015), aquele que conta com apenas adição de RCMG, ainda assim os resultados referente à resistência à compressão divergiram demasiadamente, ou seja, os resultados não só foram insatisfatórios, mas, a diferença entre o melhor traço de Santos Neto (2015) repetido pelo autor, infelizmente, divergiram em 103,57%.

A tabela 19 mostra as divergências em relação à resistência à compressão entre a melhor série dos tijolos testados por Santos Neto (2015) e o mesmo traço repetido pelo autor em seus tijolos nesta pesquisa. Tal traço serviu como base para este estudo. Testes estes em relação à resistência média à compressão simples, nos traços dos tijolos que receberam apenas adição de RCMG, ou seja, o “traço 1” desta pesquisa.

Tabela 19 – Resistências à compressão, traço executado por Santos Neto e pelo Autor

Melhor traço de Santos Neto com adição de RCMG	Executado por Santos Neto	Executado pelo Autor
	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)
	2,85	1,41

Fonte: Autor.

Na tabela 19, mostra na barra em azul na horizontal mais clara os executores dos traços e abaixo as devidas resistências médias suportadas sobre o mesmo traço executado pelos dois pesquisadores.

5.1 Observações

É importante iterar que a qualidade do tijolo de solo-cimento é função do arranjo dos grãos e da compactação empregada pela prensa.

Os tijolos solo-cimento produzidos com o mesmo traço nas duas análises, nesta e na de Santos Neto (2015), partiram de um processo de prensagem manual na mesma prensa CINVA-Ran, confeccionados um a um.

Dito isto, há possibilidade de terem sido empregadas neles energias diferentes através da força humana em cada um tijolo em separado, visto que é quase que artesanal a produção, pois é praticamente impossível a força nas suas prensagens serem idênticas, posto, cada movimento na alavanca da máquina são únicos e cada enchimento no compartimento de massa também, uns tijolos são mais densos que outros, ou seja, uns recebem mais ou menos massa no compartimento, bem como mais esforços físicos em forma de força são maiores ou menores entre eles, conseqüentemente os graus de compactação são diferenciados.

Também, em relação ao material “solo” que se encontra estocado ao relento, este proveio de outras experiências feitas por estudantes de Engenharia de Produção, e foi depositado nos domínios do Campus do Sertão, próximo à rodovia AL 145. Tal solo foi aproveitado por Santos Neto (2015) em sua pesquisa, assim como foi aproveitado também nesta com o propósito de se poupar tempo, e com objetivo de aproximar o máximo os resultados entre as duas pesquisa, contudo, este trabalho não repetiu os testes dantes elaborado por Santos Neto (2015), mas citou os resultados dele como verdade absoluta, logo, tal solo exposto a intempéries, misturado à materiais orgânicos, pode ter alterado a sua composição.

Todavia, ainda assim, os resultados apresentaram diferença de 103,57% entre as pesquisas, e isto causa estranheza por se tratar de tamanha divergência.

6. CONCLUSÃO

a) Os exames de solo utilizados para a confecção dos tijolos neste trabalho foram os mesmos adotados nos ensaios executados por Santos Neto (2015), pois se tratava de solo remanescente da sua pesquisa, e nela, ele chegou ao resultado de que o solo era extremamente qualificado para este propósito, pois passou 100% pelas malhas da peneira de 4,75 mm; e de 10% a 50% passando na peneira de 0,075 mm; com um limite de liquidez de 14,4% ou seja, menor ou igual a 45% e um índice de plasticidade menor ou igual a 18%. Assim, todos os critérios foram satisfeitos;

b) Quanto aos testes de absorção de água nos ensaios, chegou-se à conclusão que com apenas o RCMG a absorção foi de 9,56%, ao acrescentamos resíduos de CBCA a absorção subiu para 13,35%, e à medida que acrescentamos mais CBCA a absorção caiu para 12,59% e depois para 11,41%, satisfazendo o requisito da norma que reza que não pode ultrapassar 20%; quanto ao maior valor de absorção de água individual, foi de 11,62%, o que também satisfaz os requisitos normativos, pois deu abaixo de 22%.

c) Em relação aos testes de compressão simples, à medida que se aumenta a quantidade de CBCA ao compósito, a resistência subiu e depois diminui consideravelmente nos tijolos, tais resultados foram: 1,41 MPa; 1,48 MPa; 1,40 MPa e 1,25 MPa, correspondentes ao traço 1, 2, 3 e 4, respectivamente, tendo como melhor compressão individual 1,20 MPa, ou seja, nenhum atingindo as exigências normativa, ficando assim inviável a produção de tijolos com as percentagens estudadas como adição de CBCA e RCMG em tijolos solo-cimento.

Entretanto, este estudo não se trata de uma obra completa e acabada, pois tais resultados podem embasar outras pesquisas complementarem, visto que, estes resultados têm sua importância como parâmetros num futuro prosseguimento desse estudo, com a finalidade de se chegar a uma conclusão sobre uma dosagem dos resíduos ideal em relação às adições de CBCA e de RCMG, em tijolos solo-cimento, como melhoramento.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros.

- a) Realizar testes para se achar a quantidade ideal de cimento para produzir os tijolos solo-cimento com adição de RCMG;
- b) Realizar testes para se achar a quantidade ideal de cimento para fabricar os tijolos solo-cimento com adição de CBCA;
- c) Realizar testes para se acha a quantidade ideal de cimento para fabricar os tijolos solo-cimento com adições de RCMG e CBCA, concomitantemente;
- d) Realizar estudos usando variações percentuais superiores e inferiores de RCMG e CBCA, concomitantemente, para buscar uma concentração ideal de cada um, de forma otimizada, a ser adicionada em cada resíduo em tijolos solo-cimento.

REFERÊNCIAS

ABIKO, Alex Kenya. (1983). *Solo-cimento: tijolos, blocos e paredes monolíticas*. In: Construção São Paulo n.1863. Pini-SP, apud MARINHO, Raquele Cruz; PENTEADO, Priscilla Troib. *Análise Comparativa de Custo e Produtividade dos Sistemas Construtivos: alvenaria de solo-cimento, alvenaria com blocos cerâmicos e alvenaria estrutural com blocos de concreto na construção de uma residência popular*. Trabalho de Conclusão de Curso, Utfpr - Universidade Tecnológica, apud ABIKO, A. K. (1983). *Solo-cimento: tijolos, blocos e paredes monolíticas*. In: Construção São Paulo n.1863. Pini-SP. Federal do Paraná - Departamento Acadêmico de Construção Civil, Curso de Engenharia de Produção Civil. Curitiba, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *site:s<http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/press_kit.pdf>*. Acesso em 03/04/2016.

_____. *Solo-Cimento na habitação popular*. São Paulo, 1985.

_____. *Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio*. São Paulo-SP. Estudo Técnico n.º 35, 57p, 1986.

_____. *Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais*. São Paulo: Boletim Técnico 111, 2000.

_____. *Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio*. São Paulo-SP. Estudo Técnico n.º 35, 57p, 1986.

_____. *Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com a utilização de prensas hidráulicas*. 2.ed. São Paulo/SP, 1989. 8p. (BT, 112)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . *NBR- 6459. Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, RJ (1984).

_____. *NBR-6457. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, RJ (1986).

_____. *NBR-7181. Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, RJ (1988a).

_____. *NBR-7180. Solo - Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, RJ (1988b).

_____. *NBR-10004. Resíduos sólidos – Classificação.* Rio de Janeiro, RJ (2004a).

_____. *NBR-10006. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.* Rio de Janeiro, RJ (2004b).

_____. *NBR- 10833. Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento.* Rio de Janeiro, RJ (2013a).

_____. *NBR-8491. Tijolo de solo-cimento - Requisitos.* Rio de Janeiro, RJ (2013b).

_____. *NBR-8492. Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio.* Rio de Janeiro, RJ (2013c).

_____. *NBR-15.575. Segurança, habitabilidade, sustentabilidade.* Rio de Janeiro, RJ (2013).

ALEXANDRE, Jonas; ALVES, Maria G.; LIMA Thiago V.. *Estabilização de Solos Argilosos para a Produção de Blocos Ecológicos.* Engenharia Civil UM, nº 34, 2009.

BARRETO, Mauricio Guillermo Corba. *Por que duas casas ficam em pé e uma cai? Estudos multicase do processo construtivo de 3 habitações sociais em adobe nos Assentamentos Rurais Pirituba II e Sapé Tiaraju – SP – Brasil.* Dissertação de Mestrado em Arquitetura, Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP - Universidade de São Paulo, 2011.

BESSA, Sofia Araújo Lima. *Utilização da Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar como agregado miúdo em Concreto para Artefatos de Infraestrutura Urbana.* Tese de Doutorado em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos. 2011.

BETSUYAKU, Renato Yochio. *Construção de eco tijolos com adição de areia diatomácea.* Fundação Oswaldo Aranha - Centro Universitário de Volta Redonda, Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Mestrado Profissional em Materiais, Volta Redonda, 2015.

BORLINI, Mônica Castoldi; DE CAMPOS, Antônio Rodrigues; CASTRO, Nuria Fernández; VIDAL, Francisco W. Holanda. *Tratamento e Aproveitamento de Resíduos de Rocha ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental.* Cetem – Centro de Tecnologia Mineral. Cate – Coordenação de apoio Tecnológico a Micro e Pequenas empresas. Sem data.

CHAGAS, Marcela Aleixo; GONÇALVES, Gabrielle Cristina; LUCAS, Taiza de Pinho Barroso; MAGESTE, Jalson Luiz; MORAIS, Paola Waleska Pereira; MOTTA, Jessica Campos Soares Silva; ROCHA, Glayce Nayara; TAVARES, Joicimara da Costa. *Tijolo de Solo-Cimento: análise das Características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis*. E-xata, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 13-26, 2014, Editora UnkBH.

CENTROROCHA – Centro Brasileiro dos Exportadores de Rochas Ornamentais. *Informativo junho de 2015*. <<http://www.centrorochas.org.br/>>. Acesso em 18/07/2016.

CLARO, Priscila Borin de Oliveira; CLARO, Anny Pimentel; AMÂNCIO, Robson. *Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações*. Revista de Administração, volume 43, n.4, p. 289-300, out./nov./dez./2008.

CONSULTOR JURÍDICO - *Proteção Ambiental: é proibida queima de palha de cana-de-açúcar*, disponível em: <<http://www.conjur.com.br/2009-ago-10/proibida-queima-palha-cana-acucar-interior-paulista>>. Acessado em 10/02/2016.

DA COSTA, Felipe Lima; SILVA, Antônio Jorge Parga da. *Blocos Vasados Modulares de Concreto Inovado com Adição de Cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar*. Revista do CEDS – Periódico do Centro de Estudo em Desenvolvimento Sustentável da Undb, nº 2 - volume 1 – maio/julho 2015 – semestral, disponível em: <<http://www.undb.edu.br/ceds/revistadoceds>>.

DA SILVA, Sandra Sereide Ferreira; E MELLO, Valdicleide Silva; NASCIMENTO, Naudienne Maria da Silva; SANTOS, Jaqueline Guimarães; TRAJANO, Marinalva Ferreira. *Caracterização da lama abrasiva gerada nos processos de beneficiamento do granito: um estudo de caso na Granfugi localizado em Campina Grande – PB*. XXX ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente. São Carlos, SP, Brasil, 12 a 15 de outubro de 2010.

DA SILVA, João Paulo Nobre; DE SOUZA, Marcia Ikarugi Bomfim; SEGANTINI, Antonio Anderson da Silva; DOS SANTOS, Joelma Pereira. Tijolos prensados de solo-cimento com adição de resíduos de concreto. Enc. Energ. Meio Rural 2006, Ano 6.

DE FREITAS, José Júlio Garcia; RAYMUNDO, Valério; DE JESUS, Honório Coutinho. *Características químicas dos resíduos de serragem segregados de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo*. Revista Brasileira de Geociência, DOI: v. 42(3), setembro de 2012, p. 615-624.

DE MOURA, Luiz Antônio Abdalla. *Qualidade e Gestão Ambiental: sustentabilidade e Iso 14.001*. 6ª ed., rev. e atual, Del Ray, Belo Horizonte, 2011.

FASSONI, D. P. (2000). *Fabricação Artesanal de Tijolos de Terra Crua – Adobe*. Curso 64, 71ª Semana do Fazendeiro, 16 a 20 de outubro de 2000, UFV, Viçosa, MG, 10p, apud ALEXANDRE, Jonas; ALVES, Maria G.; LIMA Thiago V.. *Estabilização de Solos Argilosos para a Produção de Blocos Ecológicos*. Engenharia Civil UM, nº 34, 2009.

FEITOSA, Diego G.; MALTONE, Kátia L.; SILVA, Ilka P. F. *Avaliação de Cinza Oriunda da Queima do Bagaço da Cana-de-açúcar na Substituição de Adubação Convencional para Produção de Alimentos e Preservação do Meio Ambiente*. Resumo do IV Cba e II Claa. Rev. Brasileira de Agronecologia. 2009, volume 4, nº 2.

FREIRE, Wesley J.; MILANI, Ana P. S. *Características Físicas e Mecânicas de Misturas de Solo, Cimento e Casca de Arroz*. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, Unicamp – SP. v. 26, n. 1, p. 1-10, jan/abril 2006.

GRANDE, Fernando Mazzeo. *Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-Cimento por Prensagem Manual com e sem Adição de Sílica Ativa*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Usp - São Carlos 2003.

IBGE - *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (Lspa)*:
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>>. Acesso em 10/02/2016.

LIMA, Sofia Araújo; VARUM, Humberto; SALES, Almir. *Análise da Resistência Mecânica e da Absorção de Blocos de Terra Comprimida Feitos com Cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar*. Tema 3, Caracterização de Material. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos SP - Brasil em convênio com o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Alveiro, Alveiro – Portugal. 2011.

LIMA, Sofia Araújo; MORETTI, Juliana Petermann; SALES, Almir; SANTOS, Tiago José dos. *Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo*. Revista Tecnológica. Edição especial ENTECA 2009, p. 87 – 97.

LIMA, Rosa do Carmo Oliveira; NEVES, G. A; CARVALHO, J. B. Q. *Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito*. Remap - Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.5.2 p. 24-31 Inss 1809-8797, Ufcg,2010. site <www.dema.ufcg.edu.br/revista>. Acesso em 25/06/ 2016.

LIMA, Thiago V. *Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ*. Campos dos Goytacazes, 2006. 107p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, apud SANTOS NETO, José Lima. *Melhoramento do Tijolo de Solo-Cimento com Adição do Resíduo do Corte do Marmore e Granito (RCMG)*. Trabalho

apresentado em conclusão de Curso de Engenharia Civil pela Ufal, Campus do Sertão, Delmiro Gouveia – AL, 2015.

LIMA, J. A. R.. *Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 1999, apud SANTOS NETO, José Lima. *Melhoramento do Tijolo de Solo-Cimento com Adição do Resíduo do Corte do Marmore e Granito* (RCMG). Trabalho apresentado em conclusão de Curso de Engenharia Civil pela Ufal, Campus do Sertão, Delmiro Gouveia – AL, 2015.

MARQUES, Sheyla Karolina Justino; MENDONÇA, Samanta Ferreira da; TENÓRIO, Taísa Menezes. *Estudo da Incorporação de Cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar em Formulações para Fabricações de Tijolos Solo Cimento*. VII Connepi – Conselho Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas TO, 2012.

M&T – Manutenção e Teconologia, em 02/04/2015. <http://www.revistamt.com.br/index.php?option=com_contenido&task=viewMateria&id=2088>. Acesso em 19.07.2016.

MILANI, Ana P. S.; FREIRE, Wesley J. *Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz*. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 1-10, jan-abril, 2006.

MME - Ministério de Minas e Energia: Contrato nº 48000.003155/2007-17: *Desenvolvimento de estudos para Elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral*. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2009.

PENTEADO, Priscilla Troib; MARINHO, Raquele Cruz. *Análise comparativa de custo e produtividade dos sistemas construtivos: alvenaria de solo-cimento, alvenaria com blocos cerâmicos e alvenaria estrutural com blocos de concreto na construção de uma residência popular*. TCC apresentado em Curso de Engenharia de Produção Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Curitiba, 2011.

Portal Brasil. *Economia e Emprego: produção de cana pode alcançar 654 milhões de toneladas*. <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/04/producao-de-cana-pode-alcançar-654-milhoes-de-toneladas-diz-conab>>. Acesso em 28/03/2016.

SANTOS NETO, José Lima. *Melhoramento do Tijolo de Solo-Cimento com Adição do Resíduo do Corte do Marmore e Granito* (RCMG). Trabalho apresentado em conclusão de Curso de Engenharia Civil pela Ufal, Campus do Sertão, Delmiro Gouveia – AL, 2015.

SEGANTINI, Antonio Anderson da Silva; WADA, Patrycia Hanna. *Estudode dosagemdetijolosdesolo-cimentocomadiçãode resíduos de construção edemolição*. DOI: 10.4025/actascitechnol.v33i2.9377, Acta Scientiarum. Technology, Maringá, v. 33, nº 2, p. 179-183. 2011.

STF - Supremo Tribunal Federal. *Queimadas em Canaviais*: Biblioteca, jurisprudência e temática. Secretaria de Documentação, Coordenadoria de Biblioteca, março de 2013.

TEIXEIRA, Anthony Francis Nunes; DE MELO, Larize Bezerra, DE OLIVEIRA Narla Sathler Musse. *Rochas ornamentais: o desenvolvimento econômico e suas relações com a sociedade brasileira e norte-riograndense*. VII Connepi – Conselho Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas TO, 2012.